



TESIS - RC142501

PERILAKU MEKANIK BETON CETAK KERING DENGAN SEMEN OPC DAN PPC

Rasyiid Lathiif Amhudo
NRP. 03111550020013

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Rasyiid Lathiif Amhudo

NRP. 03111550020013

Tanggal Ujian : 8 Januari 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:



1. **Prof. Taviq, ST., MT., Ph.D**
NIP. 19700327 199702 1 001

(Dosen Pembimbing I)



2. **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**
NIP. 19500403 197603 1 003

(Dosen Pembimbing II)



3. **Dr. Ir. Djoko Irawan, M.S.**
NIP. 195902131987011 001

(Dosen Penguji I)



4. **Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.**
NIP. 19740112 200501 2 001

(Dosen Penguji II)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dekan



Ida A Warmadewanthi ST., MT., Ph.D.
NIP. 19750212 199903 2001

STATEMENT OF COMPLIANCE

I hereby truthfully declare that this thesis is original work prepared by me; that I have behaved in accordance with the scientific, ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the reference section; and that this study has been scanned for plagiarism.

Surabaya, January 2018

Author,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Amhudo', with a long horizontal stroke extending to the right.

Rasyiid Lathiif Amhudo

PERILAKU MEKANIK BETON CETAK KERING DENGAN SEMEN OPC DAN PPC

Nama Mahasiswa : Rasyiid Lathiif Amhudo
NRP : 03111550020013
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

ABSTRAK

Beton adalah material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia, seiring juga seiring dengan meningkatnya kebutuhan ekonomi dibidang pembangunan maka kemudian dikembangkan teknologi pracetak yang mengarah pada industrialisasi

Beton bertulang pracetak pertamakali digunakan di Amerika Utara pada penggunaan sebagai pipa pembuangan limbah dan air hujan pada beberapa dekade yang lalu. Salah satu material penyusun yang sering digunakan dalam teknologi pracetak adalah beton normal. Penggunaan sistem beton pracetak menawarkan beberapa keunggulan seperti ereksi cepat, kualitas yang lebih tinggi, biaya proyek yang lebih rendah, keberlanjutan yang lebih baik, dan meningkatkan kesehatan dan keselamatan kerja.

Pada umumnya praktek dilapangan para praktisi beranggapan perilaku yang ada pada beton normal dengan sistim cetak basah (*wet cast*) mendekati kesamaan dengan sistim cetak kering (*dry cast*). Pada kedua jenis sistim cetak beton tersebut memiliki perilaku yang dipengaruhi oleh banyak faktor, meliputi adalah kuat tekan beton, umur pembebanan beton, tipe kondisi perawatan dari beton, tipe dan jenis semen, tipe dari agregat, rasio air dan semen (*water-cement ratio*), campuran adukan beton, ukuran dan bentuk dari meterial, tipe dan durasi dari pembebanan.

Peraturan dan standar yang ada banyak didapat berdasarkan penelitian dan pengujian beton cetak basah, adakah pengeruh yang timbul akibat berbedanya sisim cetak yang diterapkan pada semen OPC dan PPC, oleh karena itu dalam penelitian ini diteliti mengenai beton sistim cetak kering dengan berbagai pengujian, meliputi uji kuat tekan beton silinder Diameter 4 x 8 inch cm pada perkembangan umur 1,7,14,21,28,56 hari, kuat belah beton dengan diameter silinder yang sama, kuat lentur balok 15 x 15 x 60 cm, serta pengamatan bentuk perilaku retak dan kegagalan pada sampel beton cetak kering, semua sampel dibuat dengan dua tipe semen, yaitu OPC dan PPC.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui perkembangan dan perbedaan kinerja dan perilaku sistim cetak pada beton terhadap kedua tipe semen tersebut dalam penggunaanya dilapangan.

Kata kunci : *drycast*, kuat tekan, kuat belah, kuat lentur, OPC, PPC

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MECHANICAL BEHAVIOR OF DRY CAST CONCRETE USING ORDINARY AND POZZOLAN PORTLAND CEMENT

Name : Rasyiid Lathiif Amhudo
NRP : 03111550020013
Departement : Teknik Sipil FTSP-ITS
Advisor : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material in the world, along with the increasing economic needs in the field of development then developed precast technology that leads to industrialization

Pre-casted reinforced concrete was first used in North America on use as a waste and rainwater disposal pipe several decades ago. One of the constituent materials often used in precast technology is normal concrete. The use of precast concrete systems offers several advantages such as rapid erection, higher quality, lower project costs, better sustainability, and improved occupational health and safety.

In general practitioners practice the behavior of existing concrete in normal concrete with a wet cast system close to the similarity with the dry cast system. In both types of concrete molding systems have behavior influenced by many factors, including concrete compressive strength, concrete loading time, type of treatment conditions of concrete, type and type of cement, type of aggregate, water-cement ratio, mixed mixture of concrete, size and shape of the material, type and duration of loading.

Rules and standards are widely available on the basis of research and testing of wet concrete, is there any applicator arising from the different produced sides applied to OPC and PPC cement, therefore in this study examined the concrete dry printing system with various tests, including strong test press cylinder concrete Diameter 4 x 8 inch cm at development of age 1,7,14,21,28,56 day, concrete strength with same cylinder diameter, bending strength of beam 15 x 15 x 60 cm, and observation of behavior form of crack and failure on dry concrete sample samples, all samples were made with two types of cement, ie OPC and PPC.

The result of this research is expected to know the development and difference of performance and behavior of production system on concrete to both types of cement in its use in field.

Keywords : dry cast, compressive strength, split tensile strength, flexural strength, OPC, PPC.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang lingkup	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Semen Portland	5
2.3 Ordinary Portland Cement (OPC)	8
2.4 Portland Pozzolan Cement (PPC)	9
2.5 Dry- Cast Concrete	10
2.6 Faktor Kekuatan Beton.....	13
2.7 Kuat Belah Beton	15
2.8 Kuat Lentur	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Umun.....	19
3.2 Standar Teknis Penelitian.....	21
3.3 Peralatan dan Bahan	21
3.4 Perencanaan dan Pengujian Campuran	22
BAB IV HASIL PENGUJIAN	35
4.1 Umum.....	35
4.2 Pengujian Material Penyusun Beton	35
4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	46
4.4 Pengujian Kuat Belah Beton	63

4.5	Pengujian Kuat Lentur Beton	66
BAB V ANALISA DATA		73
5.1	Umum.....	73
5.2	Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	73
5.3	Analisa Hasil Pengujian Kuat Belah Beton.....	82
5.4	Analisa Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		89
DAFTAR PUSTAKA		91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Proyeksi konsumsi semen nasional tahun 2015-2016	1
Gambar 2.1	<i>Development of strength of pure compounds</i>	6
Gambar 2.2	Strength development of concrete containing 335 kg cement per cubic meter and made with Portland cement of difference type	8
Gambar 2.3	<i>Typical relative rate strength developments of Portland cement concrete and concrete with fly ash</i>	9
Gambar 2.4	(a) <i>Small air bubbles found in specimen</i> (b) <i>General view of specimen</i> (National Concrete Masonry Association-SEM 2007).....	12
Gambar 2.5	Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton.....	14
Gambar 2.6	<i>water/cement ratio Between Strength of Concrete</i>	15
Gambar 2.7	<i>Ratio of Splitting Tensile to Compressive Strength Versus Cylinder Compressive Strngth</i>	16
Gambar 2.8	Balok Beton Tanpa Tulangan (Ali Asroni, <i>Balok dan Pelat Beton Bertulang</i> 2010 Anoglu <i>et al</i> , 2006).....	17
Gambar 2.9	Balok Beton Tulangan (Ali Asroni, <i>Balok dan Pelat Beton Bertulang</i> Penelitian 2010)	17
Gambar 3.1	Alur Kerja Penelitian	20
Gambar 3.2	Material Agregat yang Dipakai Dalam Penelitian	22
Gambar 3.3	Mesin press hidrolis PT. Arga Beton Indah	28
Gambar 3.4	Cetakan Silinder 4 x 6 inchi pada mesin press	29
Gambar 3.5	<i>Schematic Sketch of a Typical Spherical Bearing Block (ASTM C39/C39M-99)</i>	29
Gambar 3.6	Alat Uji Tekan dan Belah Beton	30

Gambar 3.7	<i>Diagramatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Methode (ASTM C78-94)</i>	33
Gambar 3.8	Cetakan Balok Beton	33
Gambar 4.1	Agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan penelitian	35
Gambar 4.2	Material Uji Kandungan Lumpur	37
Gambar 4.3	Uji kandungan organik pada agregat halus	38
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus (Pasir)	40
Gambar 4.5	Saringan pada agregat halus	40
Gambar 4.6	Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Agregat Halus	42
Gambar 4.7	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar (Kerikil)	44
Gambar 4.8	Mesin Press Hidrolis dengan Cetakan Silinder	47
Gambar 4.9	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.5 Semen OPC.....	49
Gambar 4.10	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.4 Semen OPC.....	51
Gambar 4.11	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.3 Semen OPC.....	53
Gambar 4.12	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.5 Semen PPC	55
Gambar 4.13	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.4 Semen PPC	57
Gambar 4.14	Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.3 Semen PPC	59
Gambar 4. 15	Sketsa Gambar/Tipe Bentuk Kehancuran Pada Benda Uji Silinder ...	60
Gambar 4.16	Perilaku Kehancuran <i>Cone and Split</i>	62
Gambar 4.17	Perilaku Kehancuran <i>Shear</i>	62
Gambar 4.18	Perkembangan Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> OPC	64
Gambar 4.19	Perkembangan Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> PPC	65
Gambar 4.20	Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i>	66

Gambar 4.21	Perkembangan Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> Semen OPC	67
Gambar 4.22	Perkembangan Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> Semen PPC.....	68
Gambar 4.23	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,3 A	68
Gambar 4.24	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,3B.....	69
Gambar 4.25	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,4A	69
Gambar 4.26	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,4B.....	69
Gambar 4.27	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,5A	70
Gambar 4.28	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> OPC 0,5B.....	70
Gambar 4.29	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,3A	70
Gambar 4.30	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,3B	71
Gambar 4.31	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,4A	71
Gambar 4.32	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,4B	71
Gambar 4.33	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,5A	72
Gambar 4.34	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> PPC 0,5B	72
Gambar 5.1	Perkembangan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> OPC.....	73
Gambar 5.2	Perkembangan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> PPC	75
Gambar 5.3	Perbandingan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> OPC & PPC FAS 0.5	76
Gambar 5.4	Perbandingan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> OPC & PPC FAS 0.4	77
Gambar 5.5	Perbandingan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> OPC & PPC FAS 0.3	78
Gambar 5.6	Grafik FAS Tipe Semen OPC	79
Gambar 5.7	Grafik FAS Tipe Semen PPC	80
Gambar 5.8	Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan ACI 211.3R-02 R09.....	81
Gambar 5.9	Perbandingan Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> OPC & PPC.....	83

Gambar 5.10 Rasio Hubungan Kuat Belah dan Kuat Tekan Beton *Dry Cast*..... 84

Gambar 5.11 Perbandingan Moduluse Rupture Beton *Dry Cast* OPC & PPC 86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Main Compounds in Portland Cement</i>	5
Tabel 2.2	<i>Approximate composition limits of Portland cement</i>	6
Tabel 2.3	<i>Main Types of Portland Cement</i>	7
Tabel 2.4	<i>Comparison of Consistency Measurements for Slump and Vebe Apparatus</i>	10
Tabel 2.5	<i>Approximate Relative Water Content for Different Consistencies</i>	10
Tabel 2.6	<i>Compressive strength, absorption and density test result</i>	12
Tabel 2.7	<i>Characteristics of the air-void system</i>	13
Tabel 3.1	Jenis Standar dan Spesifikasi Pengujian Material	21
Tabel 3.2	Jenis Standar dan Spesifikasi Pengujian Beton	21
Tabel 3.3	Jenis Penggunaan Material.....	22
Tabel 3.4	Mix Design FAS 0.3	23
Tabel 3.5	Mix Design FAS 0.4	23
Tabel 3.6	Mix Design FAS 0.5	24
Tabel 3.7	Ukuran Lubang Ayakan Pasir	24
Tabel 3.8	Ukuran Lubang Ayakan Batu Pecah.....	27
Tabel 3.9	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder.....	28
Tabel 3.10	Klasifikasi Standar Deviasi Menurut SNI 03-06815-2002.....	31
Tabel 3.11	Pengujian Kuat Belah Beton.....	32
Tabel 3.12	Pengujian Kuat Lentur Beton	32
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Metode Pencucian	36
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Metode Pengendapan	37

Tabel 4.3	Hasil pengujian kandungan organik agregat halus	38
Tabel 4.4	Hasil analisis saringan agregat halus	39
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	41
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus	42
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar.....	43
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	44
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	45
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Abrasi Agregat Kasar	46
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.5 Semen OPC.....	48
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.4 Semen OPC.....	50
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.3 Semen OPC.....	52
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.5 Semen PPC	54
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.4 Semen PPC	56
Tabel 4.16	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.3 Semen PPC	58
Tabel 4.17	Hasil Pengamatan Perilaku Kehancuran <i>Dry Cast</i> OPC 0.4.....	60
Tabel 4.18	Hasil Pengamatan Perilaku Kehancuran <i>Dry Cast</i> PPC 0.4	61
Tabel 4.19	Hasil Pengujian Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> Tipe Semen OPC	63
Tabel 4.20	Hasil Pengujian Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> Tipe Semen PPC.....	64
Tabel 4.21	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> Tipe Semen OPC.....	66
Tabel 4.22	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton <i>Dry Cast</i> Tipe Semen PPC	67
Tabel 4.23	Berat Volume Beton <i>Dry Cast</i>	72
Tabel 5.1	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> OPC	74
Tabel 5.2	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i> PPC.....	75

Tabel 5.3	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.5	76
Tabel 5.4	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.4	77
Tabel 5.5	Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.3	79
Tabel 5.6	Persamaan Kuat Tekan Beton Terhadap FAS Tipe OPC dan PPC.....	80
Tabel 5.7	Perbedaan Proporsi Campuran.....	82
Tabel 5.8	Perbandingan Perkembangan Kuat Belah Beton <i>Dry Cast</i> OPC-PPC	84
Tabel 5.9	Hubungan Kuat Belah dan Kuat Tekan Beton di Berbagai Acuan.....	86
Tabel 5.10	Perbandingan <i>Moduluse Rupture</i> Beton <i>Dry Cast</i> OPC-PPC.....	87

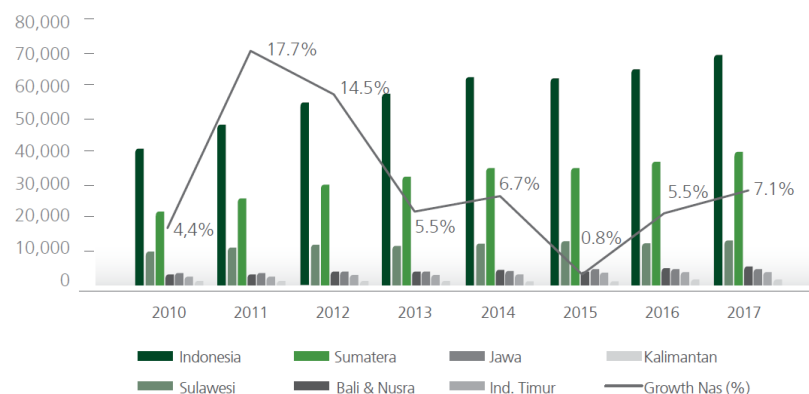
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sedang berkembang pesat dalam berbagai bidang salah satunya adalah bidang pembangunan. Penggunaan semen yang bermacam juga meningkat secara signifikan. Pemerintah Indonesia kini memiliki ruang fisik lebih baik untuk mendukung pembangunan infrastruktur dasar yang sebelumnya terbatas. Persetujuan RAPBN-P 2015 membuat Pemerintah dapat berkonsentrasi untuk merealisasikan program-program pembangunan infrastruktur dasar, termasuk sarana jalan raya dan pelabuhan, di tahun 2015 maupun ditahun-tahun berikutnya pada akhirnya akan meningkatkan konsumsi semen nasional baik secara langsung dari kegiatan proyek, maupun sebagai dampak lanjutan dari tumbuhnya kegiatan perekonomian. Memperkirakan konsumsi semen nasional di tahun 2016 dan 2017 akan tumbuh masing-masing sebesar 5,5% dan 7,1%. . (Laporan tahunan PT. Semen Indonesia, 2015).



Gambar 1.1 Proyeksi konsumsi semen nasional tahun 2015-2016
(Laporan tahunan PT. Semen Indonesia, 2015)

Salah satu jenis semen yaitu tipe-I adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) merupakan semen yang paling banyak digunakan oleh masyarakat, perkembangan kuat tekan yang cukup pada umur awal dan kuat tekan yang tinggi di jangka panjang menjadi pilihan utama. Jenis semen yang juga ada dalam

penggunaanya adalah jenis *Portland Pozzoland Cement* (PPC) yaitu jenis semen sebagai campuran semen portland dan bahan-bahan yang bersifat pozollan seperti tanur tinggi dan hasil residu PLTU (Mulyono,T. 2003), menjadi salah satu pilihan produk semen yang dipakai oleh dunia konstruksi. Perkembangan kekuatan tekan yang dimiliki semen pozollan meningkat tinggi pada jangka waktu yang panjang (*high long-term strength*). (A.M. Neville & J. J. Brooks,2010). Kedua tipe semen tersebut dapat dilihat perbedaan yang signifikan dalam perkembangan kuat tekan.

Beton cetak kering (*Dry-cast concrete*) merupakan sistem cetak pada beton dengan menggunakan jumlah air yang sangat sedikit (*low-water content*) dan dicetak dengan menggunakan alat tekan atau dengan menggunakan vibrator eksternal untuk memadatkannya. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan beton yang padat dan kedap air adalah cara pemadatan dan perawatan. Pemadatan yang biasa dilakukan adalah pemadatan secara manual dan pemadatan dengan mesin (Mulyono, T. 2003).

Material penyusun yang sering digunakan dalam teknologi pracetak adalah beton normal. Penggunaan sistem beton pracetak menawarkan beberapa keunggulan seperti ereksi cepat, kualitas yang lebih tinggi, biaya proyek yang lebih rendah, keberlanjutan yang lebih baik, dan meningkatkan kesehatan dan keselamatan kerja (Polat, 2008)

Pada umumnya praktek lapangan para praktisi beranggapan perilaku yang ada pada beton normal dengan sistem cetak basah (*wet cast*) mendekati kesamaan dengan sistem cetak kering (*dry cast*). Pada kedua jenis sistem cetak beton tersebut memiliki perilaku kuat tekan yang berbeda, perilaku tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu adalah kuat tekan beton, umur pembebanan beton, tipe kondisi perawatan dari beton, tipe dan jenis semen, tipe dari agregat, rasio air dan semen (*water-cement ratio*), campuran adukan beton, ukuran dan bentuk dari material, tipe dan durasi dari pembebanan (Goel *et al*, 2007).

Peraturan dan standar yang ada didapat berdasarkan penelitian dan pengujian beton cetak basah dengan tipe semen umum, adakah pengaruh yang timbul akibat berbedanya sistem cetak kering dengan penggunaan tipe semen OPC

dan PPC yang berbeda, oleh karena itu perlu adanya penelitian mengenai beton dengan sistim cetak kering yang diaplikasikan pada penggunaan semen OPC dan PPC, dimaksudkan agar praktisi dilapangan khususnya konstruksi pracetak (*precast*) dapat mengetahui perkembangan dan perbedaan dari kedua sistim cetak pada beton terhadap penggunaan semen OPC dan PPC tersebut.

1.2. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas maka beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perkembangan kuatan tekan beton dengan sistim cetak kering terhadap semen OPC dan PPC?
2. Bagaimana perkembangan kuat belah beton sistim cetak kering antara semen OPC dan PPC?
3. Bagaimana perkembangan dan hubungan sistim cetak kering beton OPC dan PPC terhadap kekuatan lentur?
4. Bagaimana hubungan sistim cetak kering beton dengan tipe semen OPC dan PPC terhadap sistim cetak basah serta perilakunya?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari permasalahan yang ada di atas, maka akan dapat diambil tujuan tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tesis ini :

1. Mengetahui perkembangan kekuatan tekan beton dengan sistim cetak kering beton terhadap semen OPC dan PPC.
2. Mengetahui perkembangan kuat belah beton dengan sistim cetak kering terhadap semen OPC dan PPC.
3. Mengetahui hubungan sistim cetak kering beton OPC dan PPC terhadap distribusi kekuatan lentur.
4. Mengetahui hubungan sistim cetak kering beton dengan tipe semen OPC dan PPC terhadap sistim cetak basah serta perilakunya.

1.4.Ruang lingkup

Penelitian yang dilakukan diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Tidak membahas perilaku daktail.
2. Meterial penyusun adalah beton normal dengan tipe semen OPC dan PPC.
3. Sistim dengan cetak kering (*Dry cast system*).
4. Metode pemadatan dengan alat getar eksternal dan *compression system*.

1.5.Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan pada tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perkembangan kuat tekan beton, kuat belah beton, kuat lentur beton sistim cetak kering dengan tipe semen OPC dan PPC.
2. Mengetahui hubungan kuat tekan beton, kuat belah beton, kuat lentur beton sistim cetak kering dengan tipe semen OPC dan PPC.
3. Mengetahui perbedaan kuat tekan beton, kuat belah beton, kuat lentur beton sistim cetak kering dengan tipe semen OPC dan PPC terhadap sistim cetak basah serta perilakunya.
4. Sebagai bahan referensi bagi dunia perkonstruksian khususnya pada bidang teknologi beton.
5. Sebagai bahan masukan untuk penyusunan peraturan mengenai beton bertulang maupun beton pracetak.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. (Mulyono, T. 2003). Dengan berkembangnya penelitian maka muncul tipe-tipe semen portland yang berbeda berdasarkan bahan penyusun utamanya. Beton cetak kering adalah salah satu produk beton pracetak yang menggunakan semen sebagai bahan campurannya. *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Pozzoland Cement* (PPC) adalah tipe semen yang digunakan bahan campuran beton cetak kering. Kedua jenis semen tersebut memiliki perbedaan perkembangan kuat tekan beton disebabkan bahan penyusun yang berbeda.

2.2. Semen Portland

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus dan pasta semen akan menjadi mortar, yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (Mulyono, T. 2003)

Tabel 2.1 *Main Compounds in Portland Cement*

<i>Name of compound</i>	<i>Oxide composition</i>	<i>Abbreviation</i>
Tricalcium silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetracalcium aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Sumber : Neville A.M. & Brooks J.J. (*Concrete Technology*, 2010)

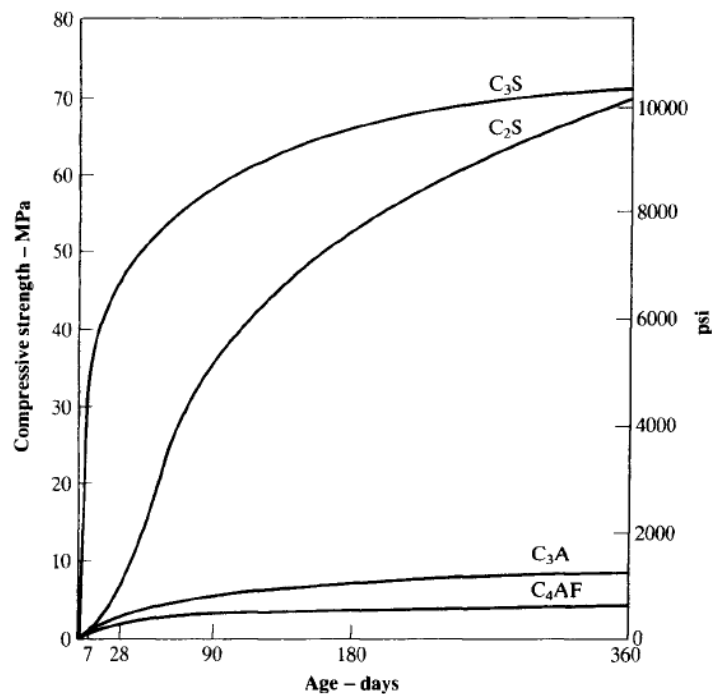
Pada umumnya komposisi semen dapat ditentukan berdasarkan batasan prosentase sesuai dengan Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 *Approximate composition limits of Portland cement.*

<i>Oxide</i>	<i>Content, per cent</i>
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 0.4
Alkalis	0.2 - 1.3
SO ₃	1 - 3

Sumber : Neville A.M. & Brooks J.J.(*Concrete Technology*)

Pengaruh kekuatan tekan dari unsur-unsur murni penyusun semen Portland terhadap umur telah diteliti oleh R. H. Bogue, berikut disajikan dalam gambar.



Gambar 2.1 *Development of strength of pure compounds.*
R. H. Bogue, (1955), *Chemistry of Portland cement.*

Mengetahui tipe semen portland yang akan digunakan dapat dilihat dalam Tabel 2.3, yaitu tipe semen berdasarkan klasifikasi *British*, *American*, dan *Europe* sesuai dengan fungsi dan unsur penyusunnya.

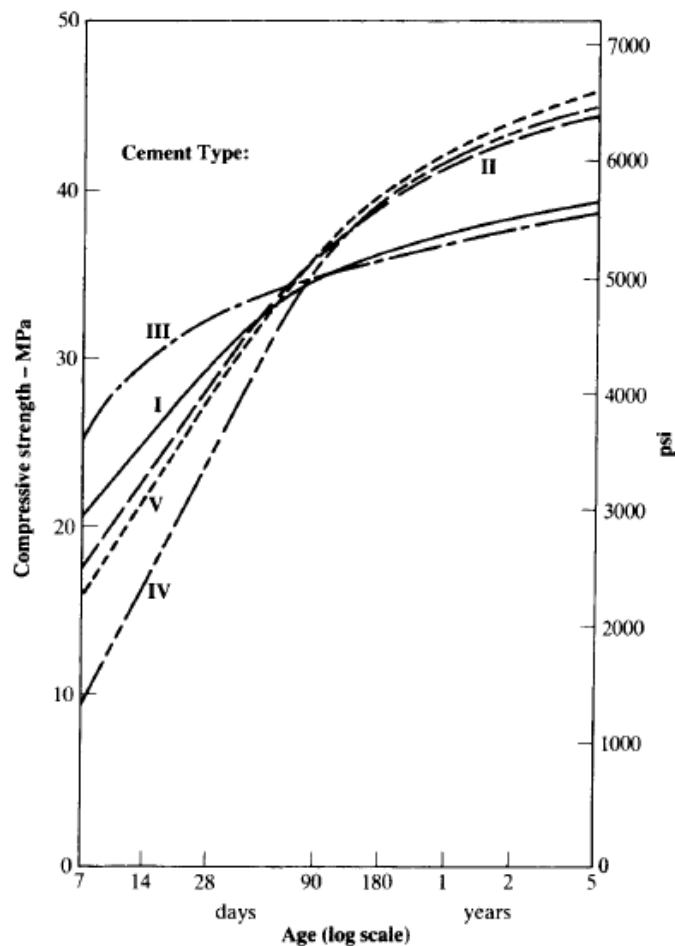
Tabel 2.3 *Main Types of Portland Cement*

<i>Traditional classification</i>		<i>European classification</i> [BS 8500-1 : 2006]	
<i>British</i>	<i>American</i>		
<i>Ordinary Portland</i> [BS 12]	<i>Type I</i> [ASTM C 150]	<i>Type (CEM) 1</i>	<i>Portland</i>
<i>Rapid hardening portland</i> [BS 12]	<i>Type III</i> [ASTM c 150]	<i>Type IIA</i>	<i>Portland eith 6 to 20% fly ash, ggbs, limestone or 6 to 10% silica fume</i>
<i>Low-heat Portland</i> [BS 1370]	<i>Type IV</i> [ASTM C 150]	-	-
<i>Modified cement</i>	<i>Type II</i> [ASTM C 150]	<i>Type IIB-S</i>	<i>Portland with 21 to 35% ggbs</i>
<i>Sulfate resisting Portland (SRPC)</i> [BS 4027]	<i>Type V</i> [ASTM C 150]	-	-
<i>Portland blast-furnace (Slag cement)</i> [BS 146]	<i>Type IS, Type S, Type I(SM),</i> [ASTM C 595]	<i>Type IIB-V</i>	<i>Portland with 21 to 35% fly ash</i>
<i>High slag blast-furnace</i> [BS 4246]	-	<i>Type IIB+SR</i>	<i>Prtland with 25 to 35% fly ash with anhanced sulfate resistance</i>
<i>White Portland</i> [BS 12]	-	<i>Type IIIA</i>	<i>Portland with 36 to 65% ggbs with enhanced sulfate resistance</i>
<i>Portland-pozzolan</i> [BS 6588, BS 3892]	<i>Type IP, Type P, Type I(PM),</i> [ASTM C 595]	<i>Type IIIA+SR</i>	<i>Portland with 36 to 65% ggbs with enhanced sulfate resistance</i>
-	-	<i>Type IIIB</i>	<i>Portland with 66 to 80% ggbs</i>
-	-	<i>Type IIIB+SR</i>	<i>Portland with 66 to 80% ggbs with enhance sulfate resistance</i>
-	-	<i>Type IIIC</i>	<i>Portland with 81 to 95% ggbs</i>
-	-	<i>Type IVB-V</i>	<i>Portland with 36 to 55% fly ash</i>

2.3. Ordinary Portland Cement (OPC)

Ordinary portland cement adalah semen yang digunakan dan dipakai pada pembangunan umum sebagai bahan campuran beton, dimana material beton tidak boleh terekspose langsung pada sulfat ketika berada di dalam tanah maupun di dalam air.

ASTM C 150-05 memberikan batasan untuk *free lime content* disyaratkan kurang dari 0,5%. Semen OPC (Tipe-I) adalah tipe semen umum terbaik dan semen dengan pengguna terluas, (Neville A.M. & Brooks J.J2010). Perkembangan kuat tekan beton dengan menggunakan semen OPC atau Tipe-I terlihat pada Gambar 2.2. bahwa memiliki kuat tekan yang cukup di umur awal dan meningkat signifikan pada perkembangan umur jangka panjang.

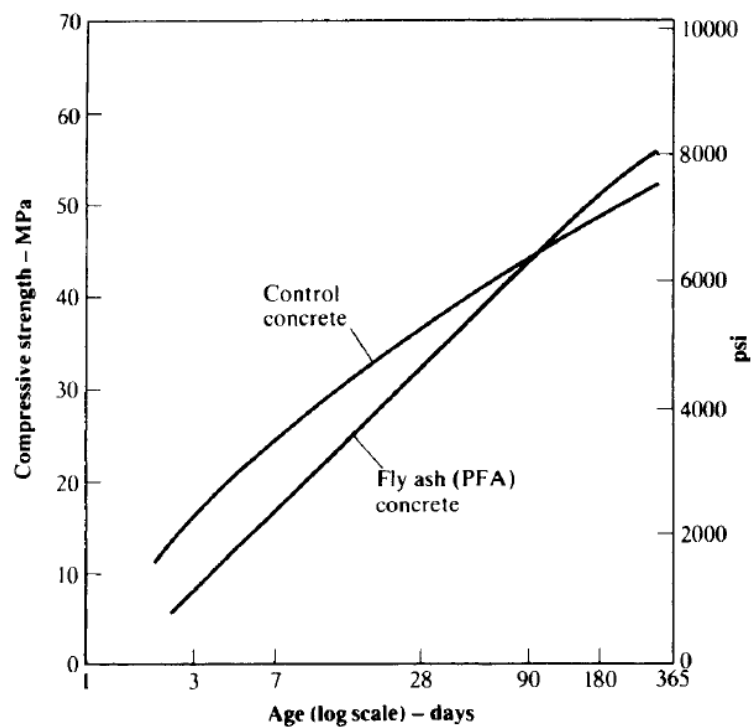


Gambar 2.2 *Strength development of concrete containing 335 kg cement per cubic meter and made with Portland cement of difference type.*
US BUREAU OF RECLAMATION (1975), *concrete manula 8th Edn.*

2.4. Portland Pozzolan Cement (PPC)

Semen yang dibuat dengan memasukkan dan menyatukan unsur pozzolans seperti *siliceous* pada *fly ash* kelas F, *burnt clay*, dan *pumicite* dengan semen portland. Sebagai acuan *portland pozzolans cement* memiliki perkembangan kekuatan tekan yang meningkat tinggi pada jangka waktu yang panjang (*high long-term strength*), lihat Gambar 2.3. Untuk pertimbangan semen dengan pozzolan, *strength activity index* dihitung berdasarkan ASTM C 311-05, dan ditentukan dengan ASTM C 618-93.

ASTM C 595-05 mendiskripsikan bahwa *portland pozzolans cement* adalah semen Tipe IP dan Tipe-I (PM) dimana batas kandungan pozzolan antara 15% hingga 40% dari total berat keseluruhan. (A.M. Neville & J. J. Brooks, 2010)



Gambar 2.3 Typical relative rate strength developments of Portland cement (control) concrete and concrete with fly ash (PFA) Neville A.M. & Brooks J.J(2010), *concrete technology*.

2.5.Dry- Cast Concrete

Pada beton pracetak terdapat sistim yang menggunakan *dry-cast concrete* (*no-slump*), yaitu dimana adukan beton tidak memiliki nilai slump atau slump nol. Proses cetak atau produksinya dilakukan dengan mesin press hidrolis atau vibrator eksternal, Berdasarkan ACI 211.3R-02. Sistim *dry cast* dibagi dalam beberapa kategori konsistensi dengan menggunakan alat slump dan vebe, sesuai dengan Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.4 *Comparison of Consistency Measurements for Slump and Vebe Apparatus*

<i>Consistency description</i>	Slump, mm	Slump, 1n	Vebe,
<i>Extremely dry</i>	-	-	32 to 18
<i>Very stiff</i>	-	-	18 to 10
<i>Stiff</i>	0 to 25	0 to 1	10 to 5
<i>Stiff plastic</i>	25 to 75	1 to 3	5 to 3
<i>Plastic</i>	75 to 125	3 to 5	3 to 0
<i>Very plastic</i>	125 to 190	5 to 7-11/2	-

Tabel 2.5 *Approximate Relative Water Content for Different Consistencies*

<i>Consistency description</i>	<i>Approximate relative water content</i>	
	Thaulow	Table 6.3.3, ACI.211.1
<i>Extremely dry</i>	78	-
<i>Very stiff</i>	83	-
<i>Stiff</i>	88	-
<i>Stiff plastic</i>	93	92
<i>Plastic</i>	100	100
<i>Very plastic</i>	106	106

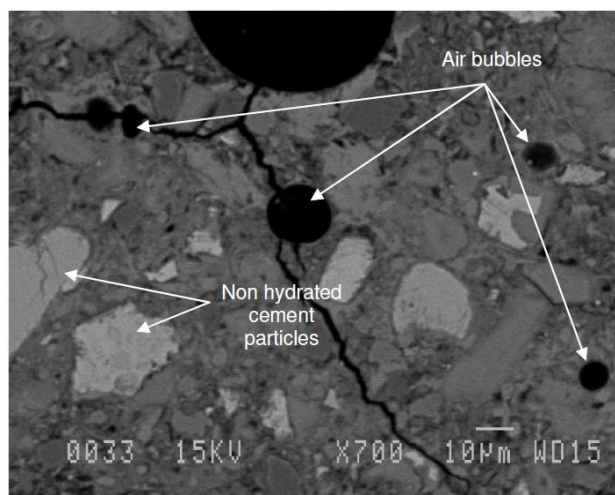
Beton cetak kering telah diproduksi dan dikomersialkan sejak tahun 1900. Beton cetak kering dibuat dengan material konvensional pada umumnya, didasari untuk mempermudah dalam langkah produksi dan nilai ekonomisnya.

Penggunanya terdapat pada *concrete pavers, u-ditch, box culvert, cover, segmental retaining walls, roof ballast* serta *erosion concrete walls* dan lainnya.

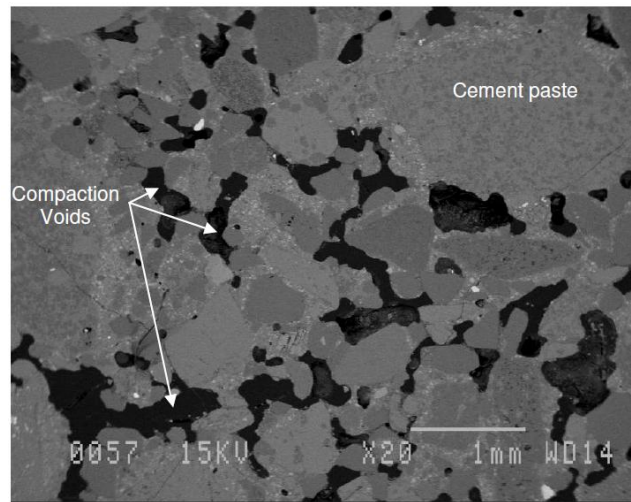
Karakteristik dari beton cetak kering yang tidak memiliki nilai slump adalah memiliki nilai kadar air yang rendah serta kekecekan yang tetap. Karakteristik ini diterapkan langsung pada sistim produksinya dengan mengisi dan menggetarkan cetakan. Fenomena ini berdampak pada kekuatan, waktu proses yang cepat serta efisien pada penggunaan cetakan dan mesin produksinya. Beton cetak kering yang tidak memiliki nilai slump memiliki perilaku berbeda pada awal umur (Husken G. & H.J.H.Brouwers, 2011).

Keunggulan lain yang dimiliki dari beton pracetak adalah upah tenaga pabrik yang relatif lebih murah dibanding upah tenaga lapangan (produktivitas di pabrik lebih konsisten), pemakaian bekisting yang lebih hemat, pemakaian bekisting yang relatif lebih sedikit, waktu penyelesaian proyek yang lebih cepat, produktivitas yang lebih besar dari pekerja karena sebagian besar bekerja di permukaan tanah dan tidak terpengaruh cuaca. (Wulfram, 2006)

Meningkatnya ekonomi dibidang pembangunan yaitu penggunaan semen pada beton, maka kemudian dikembangkan teknologi pracetak yang mengarah pada industrialisasi, di mana produk dihasilkan dengan produksi massal dan bersifat pengulangan. Hal lain yang menonjol dari penggunaan beton pracetak adalah mutu pekerjaan yang menjadi lebih baik dan seragam (Wulfram, 2006).



(a)



(b)

Gambar 2.4 (a) *Small air bubbles found in specimen* (b) *General view of specimen* (National Concrete Masonry Association-SEM 2007)

Perkembangan dan perbedaan karakteristik dari kekuatan tekan, penyerapan, kadar air, serta rongga pada beton cetak kering dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.6 *Compressive strength, absorption and density test result*

ID	Compressive Strength		Absorption		Density	
	(psi)	(MPa)	(pcf)	(%)	(pcf)	(kg/m ³)
13-B-Ref	6010	41	7.0	5.2	136.4	2184
10-B-HW	5800	40	5.4	4.0	137.0	2194
13-B-HW	8570	59	4.8	3.4	140.8	2255
16-B-HW	9080	63	4.6	3.2	141.2	2261
10-B-ECA-NA	5990	41	5.4	4.0	136.5	2186
13-B-ECA-NA	6890	48	4.7	3.4	139.0	2226
16-B-ECA-NA	7660	53	4.4	3.1	140.7	2253
10-B-ECA-NA-FT	4860	34	4.6	3.4	133.9	2144
13-B-ECA-NA-FT	7130	49	4.2	3.0	139.2	2229
16-B-ECA-NA-FT	7230	50	4.5	3.3	137.8	2207
10-B-ECA-LA-FT	5380	37	7.2	5.3	136.6	2188
13-B-ECA-LA-FT	6630	46	6.6	4.7	139.1	2228
16-B-ECA-LA-FT	8630	60	5.4	3.8	141.3	2263
13-B-ECA-HA-FT	7340	51	5.4	3.9	140.4	2249
16-B-ECA-HA-FT	7490	52	6.2	4.4	139.5	2234

Sumber : *National Concrete Masonry Association-SEM 2007*

Tabel 2.7 *Characteristics of the air-void system.*

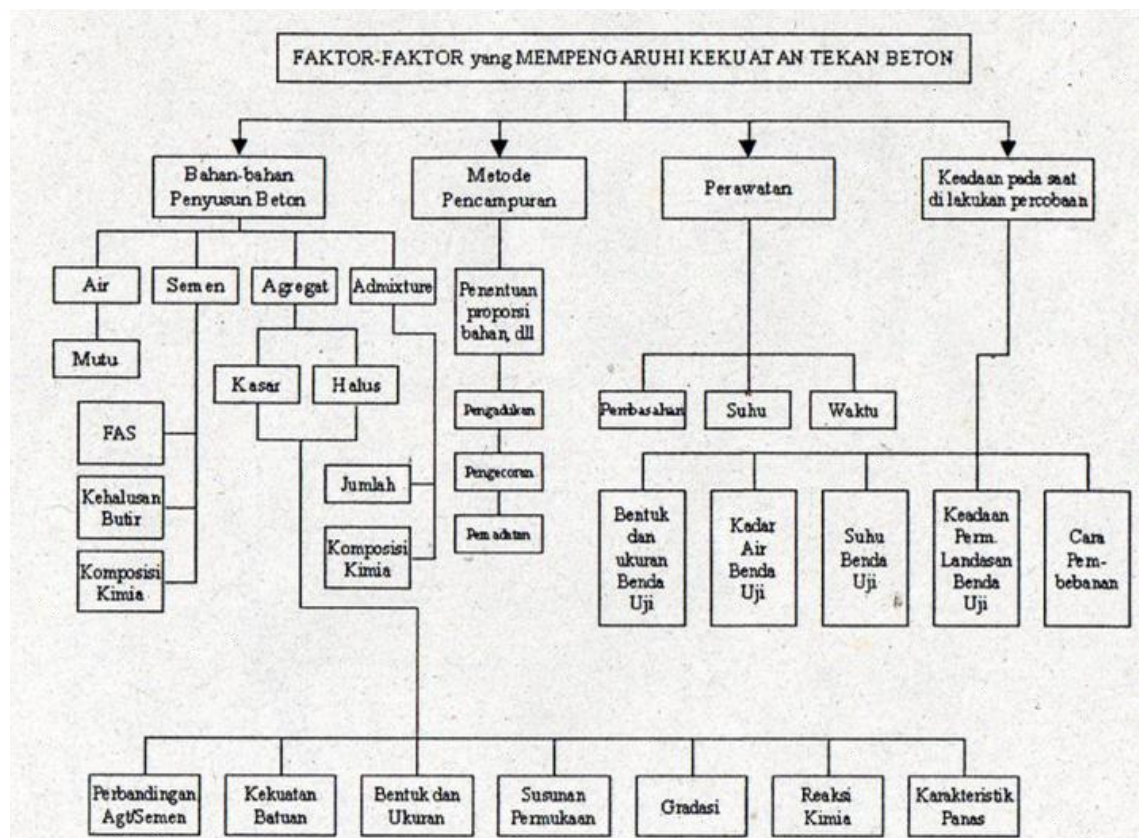
ID	Standard ASTM C457 (All voids included)			Modified ASTM C457 (small compaction voids only)			Modified ASTM C457 (small air bubbles only)
	Total air content, %	Specific area, mm^{-1}	Spacing factor, μm	Total air content, %	Specific area, mm^{-1}	Spacing factor, μm	Total air content, %
13-B-Ref	15.3	13.3	77	12.6	15.2	84	0.1
10-B-HW	9.8	19.8	94	8.5	17.7	123	0.7
13-B-HW	8.3	16.8	134	6.7	13.6	210	1.0
16-B-HW	9.2	18.8	122	7.9	18.2	148	0.6
10-B-ECA-NA	12	14.4	103	10.4	15.2	115	0.1
13-B-ECA-NA	12.9	12.7	137	10.4	14.2	157	0.3
16-B-ECA-NA	22.4	8.1	122	9.8	16.9	134	0.3
10-B-ECA-NA-FT	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
13-B-ECA-NA-FT	16.1	13.9	87	13.7	15.5	94	0.0
16-B-ECA-NA-FT	21	10.6	86	16.8	12.8	95	0.1
10-B-ECA-LA-FT	15.3	15.1	70	13.3	16.5	75	0.4
13-B-ECA-LA-FT	11	16.4	105	10	16.4	116	0.0
16-B-ECA-LA-FT	10.5	16.6	118	8.3	17.4	146	0.7
13-B-ECA-HA-FT	10.4	20.1	75	8.8	19.4	94	1.0
16-B-ECA-HA-FT	12.3	17.2	85	10.2	19.5	92	0.1

* not determined: too many compaction voids.

Sumber : National Concrete Masonry Association-SEM 2007

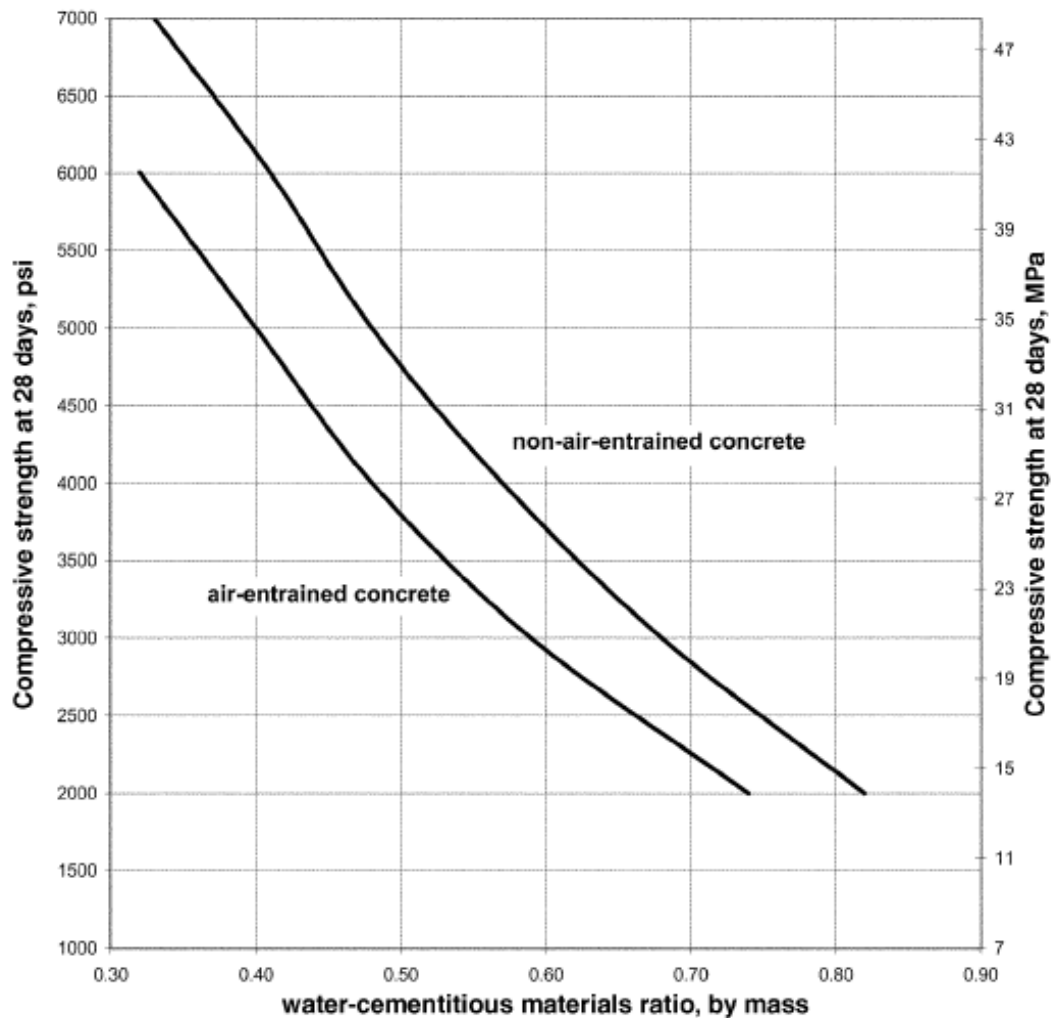
2.6.Faktor Kekuatan Beton

Faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton adalah porositas, faktor air semen (FAS), kualitas agregat (*grading*, tekstur, bentuk, kekuatan dan kekakuan) serta ukuran maksimum dari agregat, Neville A.M. & Brooks J.J(2010). Mulyono T. 2003, juga menyimpulkan bahawa faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton meliputi beberapa aspek, yaitu bahan penyusun beton, metode pencampuran, metode perawatan, dan kondisi saat dilakukan percobaan.



Gambar 2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton (Mulyono, T. 2003)

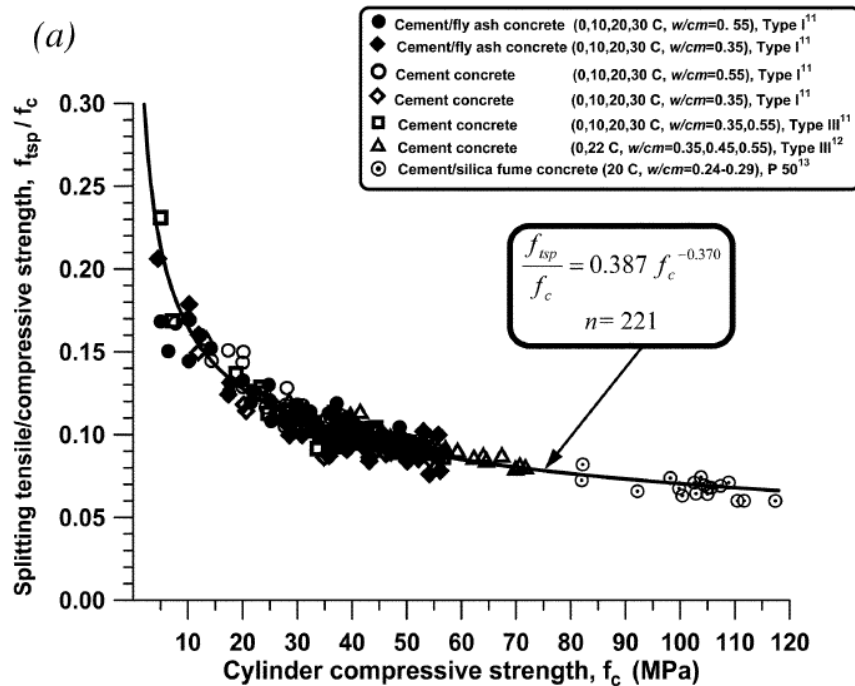
Penelitian yang dilakukan oleh D. C. Teychenne, R. E. Franklin dan H. Emtroy yang tertuang dalam Concrete society technical report (Gambar 2.5.) menunjukkan bahwa semakin panjang umur beton maka kekuatan semakin meningkat, berbanding terbalik dengan faktor air semen (FAS) semakin kecil FAS maka kekuatan semangkin meningkat. Terdapat dua kurva yang dijadikan sebagai acuan oleh ACI 211. Yaitu perkembangan kurva kuat tekan beton dengan *non air entrained* dan *air entrained*.



Gambar 2.6 Water Cement Ratio Between Strength of Concrete

2.7. Kuat Belah Beton

Penelitian mengenai rasio hubungan kuat belah beton dengan kuat tekan beton telah dilakukan oleh Nihal Anoglu et al, 2006. Hasil pengujian dibandingkan untuk menentukan hubungan diantara kuat belah beton dan kekuatan tekannya pada rentang kekuatan mencapai 120 MPa, dimana ada penambahan bahan tambah berupa *Silica Fume Concrete* dan *Fly Ash* sebagai perbandingannya. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan belah beton dan tekan beton yang tinggi diatas 120 MPa memiliki hubungan yang berbeda dengan kuat belah serta kuat tekan dibawahnya, grafik dan hasil persamaan terlihat pada gambar 2.9.

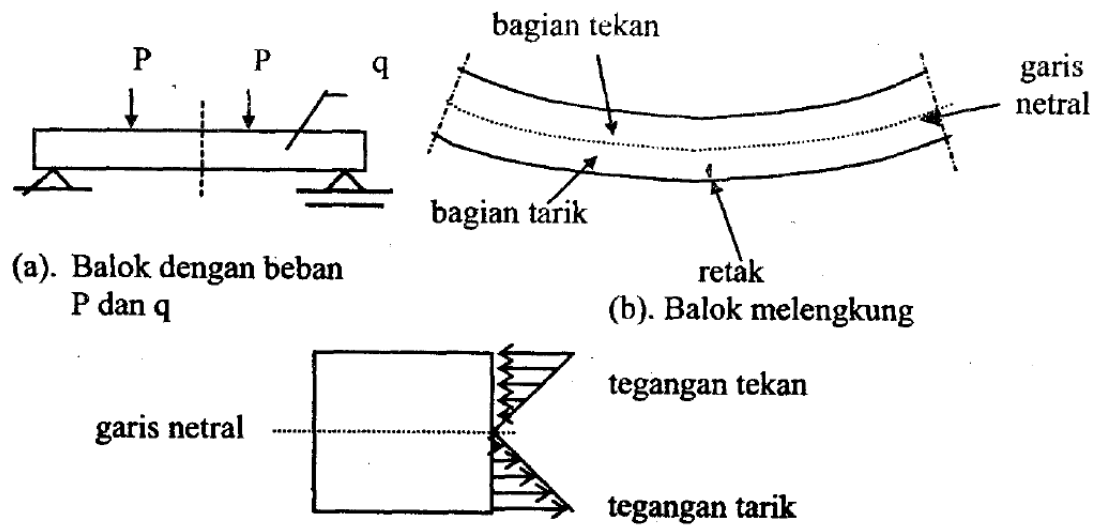


Gambar 2.9. Ratio of splitting tensile to compressive strength versus cylinder compressive strength (a) $n = 221$ (b) $n = 104$. (Nihal Anoglu et al, 2006)

2.8.Kuat Lentur

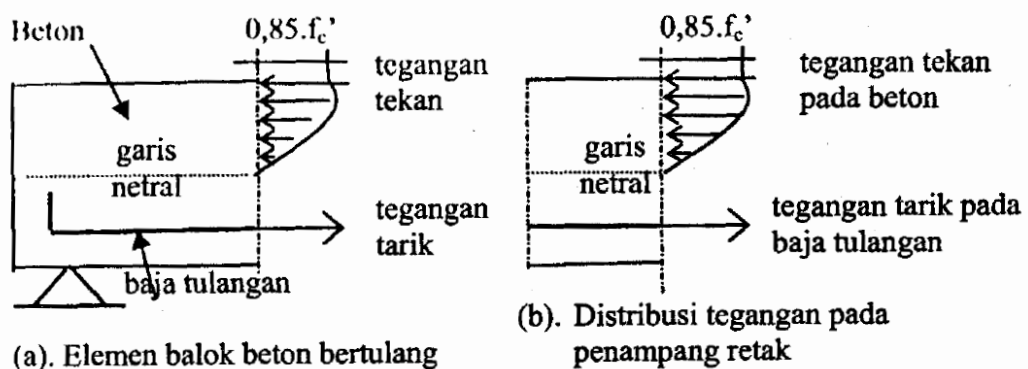
Sifat dari bahan beton, yaitu sangat kuat untuk menahan tekan, tetapi tidak kuat (lemah) untuk menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikuknya menimbulkan tegangan tarik melebihi kuat tariknya, (Asroni, H. Ali, 2010). Skema ini biasa terjadi pada pembebanan lentur baik itu balok maupun pelat.

Jika sebuah balok ditumpu oleh tumpuan sederhana (sendi-rol), dan diatas balok tersebut bekerja beban terpusat serta beban merata, maka akan timbul momen luar, sehingga balok akan melengkung ke bawah. Pada balok yang melengkung akibat beban luar pada dasarnya ditakan oleh kopel gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tarik. Pada serat-serat balok bagian tepi-bawah akan menahan tegangan tarik, dan semakin keatas tegangan tariknya akan semakin kecil pula (Asroni, H. Ali, 2010).



Gambar 2.10. Balok Beton Tanpa Tulangan
(Asroni, H. Ali, *Balok dan Pelat Beton Bertulang* 2010)

Untuk menahan gaya tarik yang tarik yang cukup besar pada serat balok bagian tepi bawah, maka perlu diberi tulangan sehingga disebut dengan istilah “beton bertulang”. Pada balok beton bertulang ini, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan.



Gambar 2.11. Balok Beton Tulangan
(Asroni, H. Ali, *Balok dan Pelat Beton Bertulang* 2010)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum

Dalam upaya untuk mencapai hasil penelitian yang diharapkan, maka diperlukan tahapan penelitian agar mempermudah penelitian didalam pelaksanaannya dan juga dapat berjalan sesuai dengan rencana, berikut adalah tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan :

a Tahapan awal pemilihan material dan bahan

Material bahan campuran beton, yaitu pasir, kerikil, semen, air dan bahan cetakan dipilih kondisi yang baik secara visual atau nampak dan dibawa ke laboratorium unuk diperiksa dan dilakukan pengujian lanjutan.

b Pengujian material

Pengujian yang dilakukan pada material pasir, semen, kerikil, dan air bertujuan mengetahui karakteristik bahan yang akan dipakai dalam pembuatan beton, apakah sudah memenuhi persyaratan atau belum, sehingga dapat memilah dan mebuat beton yang dihasilkan berkualitas baik.

c Persiapan alat dan material

Setelah tahapan awal pemilihan dan tahap pengujian laboratorium selesai, maka sebelum memulai produksi atau proses cetak harus dipersiapkan jumlah kebutuhan materialnya dan kesiapan dan kebutuhan dari alat yang akan digunakan untuk proses cetak, meliputi penimbangan dari kebutuhan masing-masing material, penyiapan alat pengaduk, sekop, cangkul, dan *mixer*, serta pemberian pelumas pada mesin press.

d Proses pengadukan

Proses pengadukan beton cetak kering (*dry cast*) dapat dilakukan dengan pengadukan manual menggunakan sekop dan cangkul atau menggunakan mesin pengaduk (*mixer*), proses pengadukan dilakukan dengan

mencampurkan material pasir dan semen terlebih dahulu lalu mencampurkannya dengan kerikil hingga adukan merata homogeny dan terakhir menambahkan jumlah air yang diperlukan hingga adukan keseluruhan merata dan siap untuk dilakukan proses pemadatan.

e Proses penggetaran dan pemadatan

Pada proses penggetaran adukan, digunakan *vibrator eksternal* yang ditempel pada bawah mesin serta tambahan tekanan mesin press dari atas cetakan sehingga adukan padat dengan sempurna. Proses penekanan yang dilakukan oleh mesin press dilakukan hingga beton benar-benar padat, ditandai dengan mesin tak mampu lagi menekan kearah bawah cetakan.

f Proses akhir (*finishing*)

Proses akhir cetak ini adalah proses pengangkatan cetakan, dimana beton akan terlepas dari cetakannya. Proses ini adalah dilakukan dengan melihat kondisi visual dari beton yang telah dipadatkan apakah sudah sesuai dengan ukuran rencana atau masih ada kerusakan kerusakan kecil akibat kurang padatnya proses cetak, ketika terjadi rusaknya sampel maka proses akan diulang kembali dimuali dari penggetarn dan pemadatan ulang hingga sampel benar benar jadi terbentuk sempurna. Proses cetak secara keseluruhan membutuhkan waktu 4 hingga 7 menit untuk sekali cetak.

g Perawatan dan pengujian beton

Perawatan beton yang dilakukan pada penelitian ini adalah merendam sampel pada kolam air hingga umur yang telah ditentukan, sebelum proses pengujian sampel dilakukan, kondisi sampel benar benar dalam kondisi kering udara. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tekan, kekuatan belah, dan kekuatan lentur dengan tinjauan pada variasi semen (OPC dan PPC) serta pada variasi FAS (0.3, 0.4, 0.5).

h Analisis akhir serta kesimpulan

Tahapan untuk melihat, mengetahui dan memahami perbedaan dan persamaan dari karakteristik perilaku mekanik dari beton dengan sistim cetak kering pada tipe semen OPC dan PPC.

3.2 Standar Teknis Penelitian

Pemilihan standar penelitian yang digunakan agar berjalan sesuai dengan tahapan, ditentukan berdasarkan tujuan utama penelitian. Berikut kami sajikan standar penelitian yang digunakan dalam Tabel 3.1 dan 3.2

Tabel 3.1 Jenis Standar dan Spesifikasi Pengujian Material

STANDAR & SPESIFIKASI MATERIAL		
Jenis Material	Pengujian	Standar/Spesifikasi
Air	Klorida, sulfat, garam anorganik, asam, basa, dan minyak	ACI 318-89:2/BS 3148-80
Pasir	<i>Organic impurities, sieve analysis, specific gravity and absorption</i>	ASTM C40-99, C128-97, C136-96a, SNI-03-2834-1994 & 1970:2008
Kerikil	<i>Abrasion, specific gravity, sieve analysis and absorption</i>	ASTM C33-99a, C127-88, C131-96, C136-96a, & SNI-03-2834-1994

Tabel 3.2 Jenis Standar dan Spesifikasi Pengujian Beton

STANDAR & SPESIFIKASI BETON		
Jenis Material	Pengujian	Standar/Spesifikasi
Beton/Concrete	<i>Compressive Strength of Cylindrical Concrete</i>	ASTM C39/C39M-99
	<i>Methods for Flexural Strength of Concrete (Using simple beam with center point loading)</i>	ASTM C78-94
	<i>Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete</i>	ASTM C496-96

3.3 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini akan dilaksanakan di tiga tempat yang berbeda, yaitu di lakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Laboratorium PT. Arga Beton, serta Laboratorium penunjang lain yang dapat membantu penelitian ini. Keseluruhan proses persiapan alat dan pembuatan dilaksanakan di Laboratorium PT. Arga Beton dan Laboratorium Beton Istitute Teknologi Sepuluh Nopember dan untuk pengujiannya dilaksanakan di kedua tempat tersebut, dapat dimungkinkan juga lokasi pengujian dapat berubah dikarenakan kondisi dan situasi yang berubah.

Alat yang akan dipakai akan diperikasa dahulu dengan kalibrasi dan pengukuran agar hasil yang akan didapat sesuai dengan harapan. Sumber material yang akan dipakai ditampilkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Jenis Penggunaan Material

Jenis Material	Asal Material/Tipe
Air	PDAM Kabupaten Gresik
Pasir	Kabupaten Lumajang
Kerikil	Kabupaten Mojokerto
Semen	<i>Ordinary Portland Cement</i> dan <i>Portland Pozzolan Cement</i> PT Semen Indonesia (Semen Gresik)



Gambar 3.2 Material Agregat yang Dipakai Dalam Penelitian

3.4 Perencanaan dan Pengujian Campuran

Pada penelitian ini desain adukan beton dengan sistim cetak kering didasarkan bertujuan untuk mendapatkan massa bahan yang akan digunakan untuk membuat 1 m³ beton sistim cetak kering (*dry cast concrete*). Bahan yang dipakai meliputi air, agregat kasar, agregat halus, serta semen OPC dan PPC. Berikut desain adukan beton normal dengan sistim cetak kering sesuai dengan pengujian masing-masing.

3.4.1 Mix Design

Dalam penelitian ini mix desain yang digunakan berdasarkan perencanaan ACI 211.3R-02 R09 *Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete* dengan kebutuhan campuran disajikan dalam Tabel 3.4 hingga Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.4 Mix Design FAS 0,3

Faktor Air Semen (FAS) = 0.3			
Slump	0	cm	(%)
Jumlah Kebutuhan Air + Koreksi	155.8	Liter	6.5%
Jumlah Kebutuhan Semen	519	Kg	21.5%
Jumlah Kebutuhan Kerikil	1152	Kg	47.7%
Jumlah Kebutuhan Pasir	588	Kg	24.3%
Total Berat Volume Beton	2415	Kg/m ³	

Tabel 3.5 Mix Design FAS 0.4

Faktor Air Semen (FAS) = 0.4			
Slump	0	cm	(%)
Jumlah Kebutuhan Air + Koreksi	155.8	Liter	6.5%
Jumlah Kebutuhan Semen	389	Kg	16.3%
Jumlah Kebutuhan Kerikil	1152	Kg	48.1%
Jumlah Kebutuhan Pasir	696	Kg	29.1%
Total Berat Volume Beton	2393	Kg/m ³	

Tabel 3.6 Mix Design FAS 0.5

Faktor Air Semen (FAS) = 0.5			
Slump	0	Cm	(%)
Jumlah Kebutuhan Air + Koreksi	155.8	Liter	6.5%
Jumlah Kebutuhan Semen	312	Kg	13.1%
Jumlah Kebutuhan Kerikil	1152	Kg	48.4%
Jumlah Kebutuhan Pasir	760	Kg	31.9%
Total Berat Volume Beton	2379	Kg/m ³	

3.4.2 Pengujian Material

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian agregat halus yaitu berupa pasir dan agregat kasar berupa batu pecah.

3.4.2.1 Analisis Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus (pasir) dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan PT. Arga Beton Indah bertempat di Kabupaten Gresik Kecamatan Kedamean. Pengujian terhadap pasir meliputi analisis saringan, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan, berat volume dan kandungan organik.

a. Analisis Saringan Agregat Halus (SNI 02-2834-1993)

Tujuan menentukan distribusi ukuran butir / gradasi pasir

Tabel 3.7 Ukuran Lubang Ayakan Pasir

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)
3"	75
2"	50
3/2	38.1
3/4	19.1
1/2	12.7
4	4.76
10	2
30	0.59
60	0.25
100	0.149
Pan	0

b. Uji Kadar Lumpur Pencucian dan Pengendapan Agregat Halus
(ASTM C 128-97)

Tujuan mengetahui kadar lumpur dalam pasir, rumus yang digunakan sebagai berikut :

➤ Persamaan yang dapat digunakan yaitu :

$$\text{Kebersihan pasir (Pencucian)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana :

W_1 = berat pasir kering (gram)

W_2 = berat pasir bersih kering (gram)

$$\text{Kebersihan pasir (Pengendapan)} = \frac{h}{H} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana :

h = tinggi lumpur (mm)

H = tinggi pasir (cm)

c. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (ASTM C 128-97)

Tujuan menentukan kadar air resapan pada pasir

➤ Persamaan yang digunakan :

$$\text{Berat jenis curah kering (S}_d\text{)} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (3.3)$$

$$\text{Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S}_s\text{)} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (3.4)$$

$$\text{Berat jenis semu (S}_a\text{)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (3.5)$$

$$\text{Penyerapan air (S}_w\text{)} = \left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\text{Dimana :}$$

Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan : S

Berat benda uji kering oven : A

Berat piknometer yang berisi air : B

Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan : C

d. Uji Berat Volume Agregat Halus (ASTM C 29/C 29M-97)

Tujuan menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat

➤ Untuk mendapatkan berat volume, maka digunakan persamaan berikut :

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (3.8)$$

Keterangan :

W_1 = Berat silinder (kg)

W_2 = Berat silinder + pasir (kg)

V = Volume silinder (lt)

e. Uji Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40-04)

Tujuan penentuan kadar organik dalam agregat yang digunakan di dalam campuran adukan beton.

3.4.2.2 Analisa Kerikil

a. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (ASTM C 127-88)

Tujuan untuk mengetahui berapa besar berat jenis dan penyerapan yang dimiliki agregat kasar dalam hal ini berat jenis batu pecah

$$\text{Berat jenis curah kering } (S_d) \quad A/(B - C) \quad (3.9)$$

$$\text{Berat jenis curah jenuh kering permukaan } (S_s) \quad B/(B - C) \quad (3.10)$$

$$\text{Berat jenis semu } (S_a) \quad A/(A - C) \quad (3.11)$$

$$\text{Penyerapan air } (S_w) \quad [(B - A) / A] \times 100 \quad (3.12)$$

Dimana :

Berat benda uji kering di udara : A

Berat benda uji kondisi SSD di udara : B

Berat benda uji didalam air : C

b. Uji Berat Volume Agregat Kasar (ASTM C 29/C 29M-97)

Tujuan menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat.

➤ Untuk mendapatkan berat volume, maka digunakan persamaan :

$$\text{Berat volume batu pecah} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad (3.13)$$

Dimana :

W_1 = berat silinder (kg)

W = berat silinder + batu pecah (kg)

V = volume (ltr)

c. Uji Keausan Agregat Kasar (ASTM C 131-03)

Tujuan mengetahui persentase keausan batu pecah untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles

➤ Persamaan yang digunakan yaitu :

$$\text{Keausan batu pecah} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3.14)$$

Dimana

W_1 = berat sebelum diabrasi (gram)

W_2 = berat setelah diabrasi (gram)

d. Analisa Saringan Batu Pecah (ASTM C 136-01)

Tujuan menentukan distribusi ukuran butir/gradasi batu pecah

Tabel 3.8 Ukuran Lubang Ayakan Batu Pecah

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)
3"	75
2"	50
3/2"	38.1
3/4"	19.1
1/2"	12.7
4	4.76
10	2
Pan	0

3.4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pengujian kuat tekan beton dilakukan bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai kekuatan tekan akibat perkembangan umur dan tipe serta jenis dari material, sebagai variasi adalah nilai faktor air semen dengan material semen berupa semen OPC dan PPC, dengan membuat sampel silinder dengan ukuran 4 x 8 inch, dengan menggunakan mesin press hidrolis yang diuji dengan alat uji tekan dengan rentang waktu yang telah ditentukan pada tabel 3.8. dengan jumlah setiap pengujian adalah 4 buah sampel.

Tabel 3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

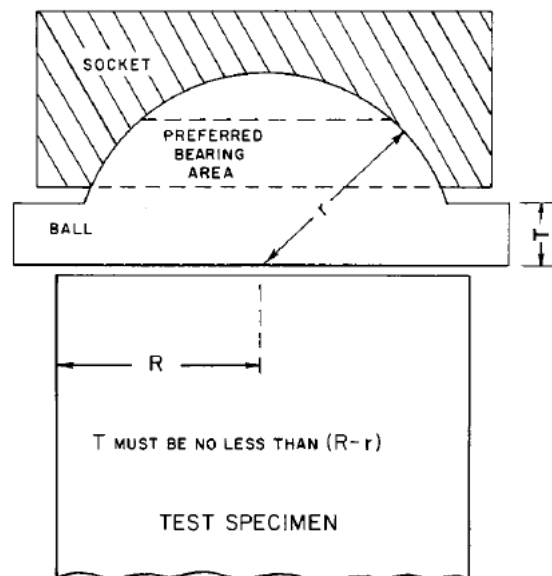
Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder (Dia. 4 inch. x 8 inch.)						
Umur (Hari)	1	7	14	21	28	56
Jumlah Sampel	3	3	3	3	3	3
Data Bahan	Variasi FAS 0.3, 0.4 , 0.5 (dengan tipe semen OPC & PPC)					



Gambar 3.3 Mesin press hidrolis PT. Arga Beton Indah



Gambar 3.4 Cetakan Silinder 4 x 6 inchi pada mesin press



NOTE 1—Provision shall be made for holding the ball in the socket and for holding the entire unit in the testing machine.

Gambar 3.5 *Schematic Sketch of a Typical Spherical Bearing Block*
(ASTM C39/C39M-99)

Untuk menghitung besarnya kuat tekan beton cetak kering, maka digunakan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.15)$$

Dimana :

σ = Besarnya kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya yang diberikan pada permukaan beton (N)

A = Luas permukaan beton (mm²)



Gambar 3.6 Alat Uji Tekan dan Belah Beton

3.4.4 Cek Standar Deviasi

Untuk mengetahui kualitas dari beton yang telah dibuat, perlu dilakukan kontrol kualitas beton agar nantinya dapat diketahui mutu dari beton yang telah dibuat.

$$S = \frac{\sum(x-\mu)}{n-1} \quad (3.16)$$

dan untuk menghitung kovarian adalah sebagai berikut :

$$K = \frac{S}{\mu} \times 100 \quad (3.17)$$

Dimana :

S = Standar deviasi

x = Nilai benda uji

μ = Rata-rata

n = Jumlah benda uji

Tabel 3.10 Klasifikasi Standar Deviasi Menurut SNI 03-06815-2002

Standar Deviasi (MPa)		Kovarian (%)		Kontrol Kualitas
Kelas				
Lapangan	Laboratorium	Lapangan	Laboratorium	
< 2.8	< 1.4	< 9.33	< 4.67	Istimewa
2.8 – 3.5	1.4 – 1.7	9.33 – 11.67	4.67 – 5.67	Sangat Baik
3.5 – 4.2	1.7 – 2.1	11.67 – 14.00	5.67 - 7.00	Baik
4.2 – 4.9	2.1 – 2.4	14.00 – 16.33	7.00 – 8.00	Cukup
> 4.9	> 2.4	> 16.33	> 8.00	Kurang

3.4.5 Pengujian Kuat Belah Beton

Pengujian kuat belah beton dilakukan dengan membuat sampel silinder dengan ukuran 4 x 8 inch, dengan menggunakan mesin press hidroliis yang diuji dengan alat uji belah dengan rentang waktu yang telah ditentukan pada tabel 3.10. dengan jumlah setiap pengujian adalah 4 buah sampel.

Tabel 3.11 Pengujian Kuat Belah Beton

Pengujian Kuat Belah Beton Silinder (Dia. 4 inch. x 8 inch.)	
Umur (Hari)	28
Jumlah Sampel	24 Bh.
Data Bahan	3 Variasi FAS, 0.3, 0.4, & 0.5 (2 Tipe Semen, OPC dan PPC)

untuk menentukan nilai kuat belah beton menggunakan persamaan berikut :

$$T = 2P / \pi ld \quad (3.18)$$

Dimana :

T = *Splitting tensile strength*, psi (kPa)

P = *maximum applied load indicated by the testing machine*, lbf (kN)

l = *length*, in. (m)

d = *diameter*, in. (m).

3.4.6 Pengujian Kuat Lentur Beton

Sample pengujian kuat lentur beton dibuat 2 buah untuk setiap variasi tipe semen dengan ukuran 15 cm x 15cm x 60 cm, dengan menggunakan cetakan papan kayu multiplek tebal 20 mm.

Tabel 3.12. Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian Kuat Lentur Beton	
Umur (Hari)	28 hari
Jumlah Sampel	12 Buah (2 Buah/variasi)
Jenis Beton/Slump	<i>Dry Cast/Zero Slump</i>
Tipe Semen	OPC dan PPC
Faktor Air Semen (FAS)	0.3, 0.4, dan 0.5

Skema pengujian lentur balok serta prasyarat ukuran sesuai pada gambar 3.5 yaitu skema pada ASTM C293, untuk menentukan modulus rupture menggunakan persamaan berikut :

$$R = 3PL / 2bd^2 \quad (3.19)$$

Dimana :

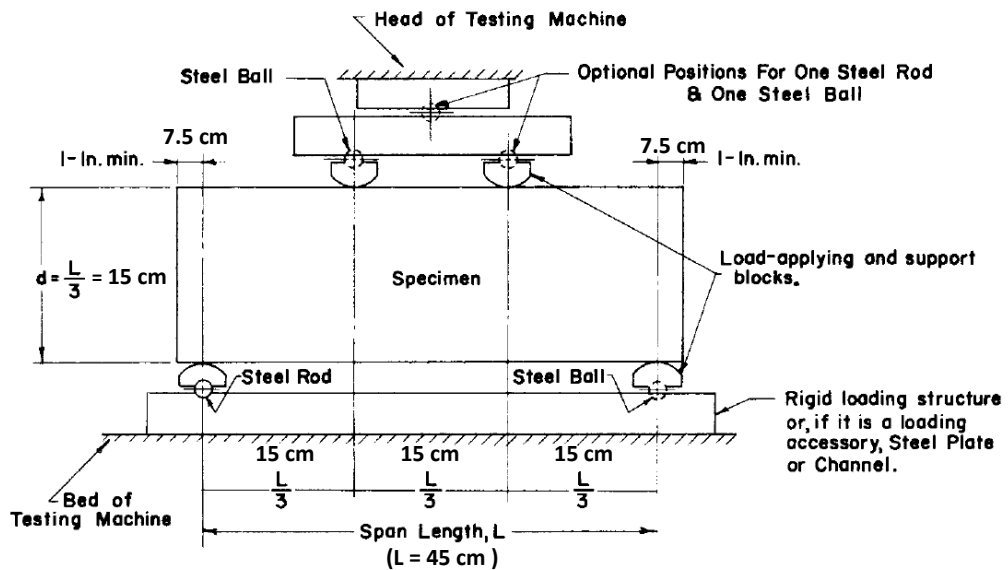
R = modulus of rupture, psi, or MPa.

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf or N.

L = span length, in or mm

b = average width of specimen, at the fracture, in or mm

d = average depth of specimen, at the fracture, in., or mm.



Gambar 3.7 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method
(Sumber : ASTM C78-94)



Gambar 3.8 Cetakan Balok Beton

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL PENGUJIAN

4.1 Umum

Pembahasan yang akan diulas dalam bab ini adalah mengenai hasil pengujian yang telah dilakukan, dimulai dari proses pembuatan, pengujian, pengumpulan data, hasil yang didapat, serta penggambaran kurva pada grafik. Untuk mempermudah dalam skema penulisannya maka akan diurutkan sesuai kerangka metodologi penelitian, dimana dibagi menjadi beberapa sub bab, agar setiap pembuatan, pengujian, dan analisis dapat dipahami dengan baik, berikut akan diuraikan.

4.2 Pengujian Material Penyusun Beton

Pengujian material penyusun beton dilakukan diawal penelitian adalah dimaksudkan agar material yang digunakan sebagai bahan penyusun beton *Dry Cast* didapat sesuai batas aturan dan ketentuan yang dipakai, metode yang digunakan adalah *American Standart Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan PT Arga Beton Indah di Kabupaten Gresik.



Gambar 4.1. Agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan penelitian

4.3 Pengujian Agregat Halus

Pada hasil pengujian karakteristik untuk agregat halus ini, dilakukan dengan berbagai metode uji sesuai pembahasan sebelumnya, meliputi pengujian gradasi, berat jenis, berat volume, penyerapan, dan kandungan lumpur, serta kandungan organik. Agregat halus yang digunakan dalam pengujian ini sudah dilakukan pengayakan sebelumnya dengan menggunakan material agregat lolos saringan No. 4 (4,75 mm) sebagai standar uji agregat halus, berikut akan diuraikan hasil-hasil pengujianya.

4.2.1.1 Pengujian Kandungan Lumpur

Pengujian kandungan lumpur pada agregat halus ini dilakukan dengan dua metode, yakni metode pencucian (ASTM C117 - 03) dan metode pengendapan (ASTM C33 - 03). Setiap metode dilakukan dengan 2 sampel agar hasil yang didapat akurat dan sesuai. Metode pencucian dilakukan dengan mencuci sampel pasir pada wadah hingga kandungan lumpur yang menempel pada pasir menjadi hilang, kemudian menimbanginya dalam kondisi kering oven. Metode pengendapan dilakukan dengan mengukur ketinggian endapan dari keseluruhan sampel ketika setelah dikocok dan didiamkan beberapa waktu sesuai ketentuan, maka akan didapat nilai pengendapan.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Metode Pencucian

ASTM C117 – 03		
Pengujian	Hasil	
	I	II
Berat agregat halus kering sebelum di cuci, W_1 (gram)	430	426
Berat agregat halus kering setelah di cuci, W_2 (gram)	426	420
Kadar Lumpur (%) = $((W_1 - W_2) / W_1) \times 100\%$	0,93 %	1,41 %
Rata-rata	1,17 %	
Batas maksimum 5%	Memenuhi Persyaratan	

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Metode Pengendapan

ASTM C33 – 03		
Pengujian	Hasil	
	I	II
Tinggi Pasir, H (mm)	35,7	31,8
Tinggi Lumpur, h (mm)	0,5	0,5
Kadar Lumpur (%) = $(h / H) \times 100\%$	1,40 %	1,57 %
Rata-rata	1,485 %	
Batas maksimum 3%	Memenuhi Persyaratan	

Berdasarkan pengujian metode ASTM C 117-03 batas maksimum kandungan lumpur pada agregat halus terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75 um) untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar 5% dari total sampel percobaan. Dari percobaan pada Tabel 4.1. didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar **1,17%**. Berdasarkan pengujian metode ASTM C 33-03 diberikan batas maksimum kadar lumpur adalah sebesar 3% dari total sampel percobaan. Dari hasil percobaan didapatkan Tabel 4.2 dengan kadar lumpur rata-rata sebesar **1,485%**. Jadi agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan sehingga agregat halus dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk adukan beton..



Gambar 4.2. Material Uji Kandungan Lumpur

4.2.1.2 Pengujian Kandungan Bahan Organik

Pengujian kandungan organik pada agregat halus menggunakan metode ASTM C40 – 04 yaitu dengan mencampurkan larutan NaOH 5%, dengan sampel pasir ditambah dengan air dikocok hingga homogen dan didiamkan., setelah itu dilihat dengan menggunakan alat penentu batas warna.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kandungan organik agregat halus

ASTM C40 – 04		
Pengujian	Hasil	
	I	II
Volume agregat halus (cc)	130	130
Volume larutan NaOH (cc)	70	70
Warna hasil pengamatan ± 24 jam	Putih bening	Putih bening
Batas Warna No.2	Memenuhi Persyaratan	



Gambar 4.3. Uji kandungan organik pada agregat halus

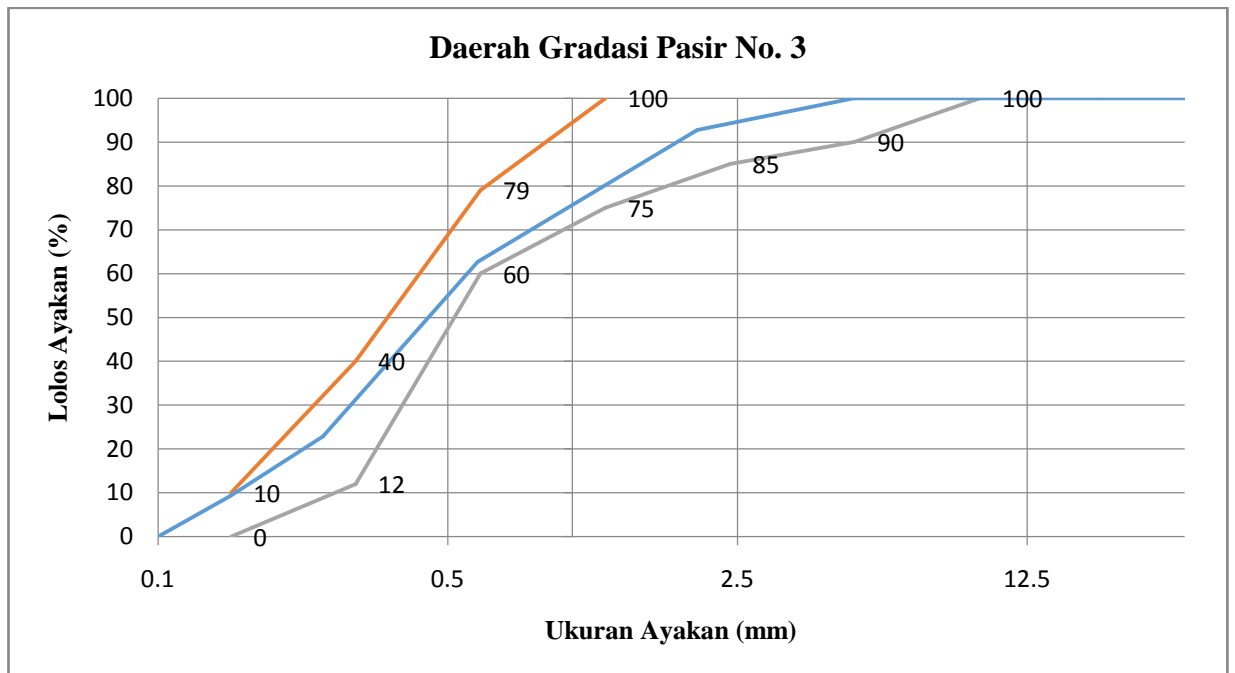
4.2.1.3 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Analisis saringan pada agregat halus ini mengacu pada metode ASTM C 136 – 01, dan SNI 02-2834-1993, agregat yang baik harus memenuhi zona lengkung ayakan. Proses pengayakan dilakukan dengan alat getar, setelah penggetaran selesai, dilakukan penimbangan untuk masing-masing ayakan, maka akan didapat

berat dari masing-masing sampel pada tiap ayakan. Dari Tabel 4.4, didapatkan grafik lengkung ayakan agregat halus, pada Gambar 4.5. telah menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan, masuk dalam gradasi No. 3 yaitu klasifikasi pasir agak halus.

Tabel 4.4. Hasil analisis saringan agregat halus

No. Aayakan	Ukuran Aayakan (mm)	Berat Pasir (gr)	Prosntase Berat (%)	Prosentase Kumulatif (%)	
				Tertinggal	Lolos
3"	75	0	0	0	100
2"	50	0	0	0	100
3/2	38.1	0	0	0	100
3/4	19.1	0	0	0	100
1/2	12.7	0	0	0	100
4	4.76	0	0	0	100
10	2	36	7.23	7.23	92.77
30	0.59	150	30.12	37.35	62.65
60	0.25	198	39.76	77.11	22.89
100	0.149	68	13.65	90.76	9.24
Pan	0	46	9.24	100	0
Σ			498	312.45	
FM Agregat halus			3,12		



Gambar 4.4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus (Pasir)



Gambar 4.5. Saringan pada agregat halus

4.2.1.4 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ASTM C128-97 ini akan mendapatkan nilai berat jenis curah kering dan berat jenis semu serta penyerapan air agregat halus. Nilai yang didapat ditentukan setelah (24 ± 4) jam. Dari hasil pengujian ini digunakan sebagai data untuk menentukan proporsi kebutuhan material pasir. Hasil dari pengujian disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	S	500	500	Gram
Berat benda uji kering oven	A	464	474	Gram
Berat piknometer yang berisi air	B	656	660	Gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	960	960	Gram

Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S_d)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.37	2.37	2.37
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.56	2.5	2.53
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.9	2.72	2.81
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\%$	7.76	5.49	6.62



Gambar 4.6. Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan ASTM C 128 – 97 berat jenis pasir curah jenuh kering permukaan yang disyaratkan adalah yang berada dalam batas 2.4 sampai dengan 2.7. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan (Tabel 4.5.) didapatkan hasil berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s) sebesar $2.56 + 2.5 = \mathbf{2.53 \text{ gram}}$. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.1.5 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian ASTM C 29/C 29M - 97 ini mendapatkan nilai berat volume dari agregat halus. Nilai yang telah didapat ditentukan dengan dua kali percobaan yang berbeda, yaitu percobaan dengan rojokan dan percobaan tanpa rojokan. Hasil dari pengujian disajikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian	Notasi	Tanpa Rojokan	Dengan Rojokan	Satuan
Berat silinder	T	4.528	4.528	Kg
Berat silinder + agregat halus	G	13.428	13.728	Kg
Berat agregat halus	G-T	8.9	9.2	Kg
Volume silinder	V	0.005	0.005	m ³
Berat volume	M	1656	1712	Kg/m ³

Nilai hasil penujian yang dilakukan adalah (Tabel 4.6.) didapatkan berat volume agregat halus dengan rojokan dan tanpa rojokan adalah sebesar **1656 Kg/m³** dan **1712 Kg/m³**.

4.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

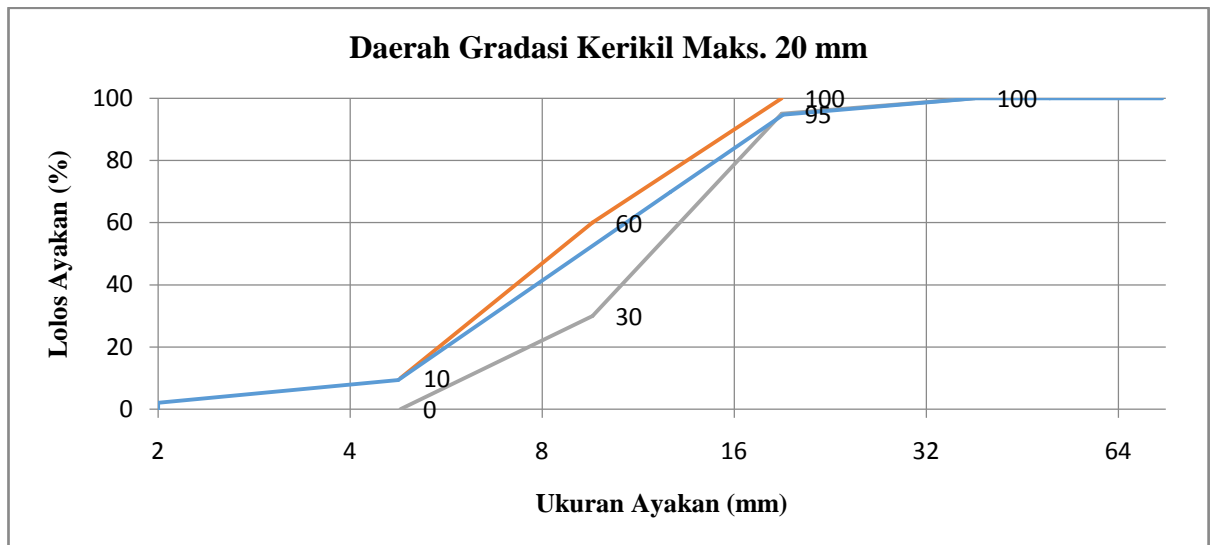
Pada hasil pengujian karakteristik untuk agregat kasar ini, dilakukan dengan berbagai metode uji sesuai pembahasan sebelumnya, meliputi pengujian gradasi, berat jenis, berat volume, penyerapan, dan keausan agregat. Berikut akan diuraikan hasil-hasil pengujianya.

4.2.2.1 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Analisis saringan pada agregat halus ini mengacu pada metode ASTM C 136 – 01, dan SNI 02-2834-1993, agregat kasar yang baik harus memenuhi zona lengkung ayakan. Dari Tabel 4.7, didapatkan grafik lengkung ayakan agregat halus pada Gambar 4.7. yang menunjukkan bahwa masuk dalam gradasi No. 2 yaitu klasifikasi agregat kasar **maksimum 20 mm**, maka material yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Kerikil	Prosentase Berat (%)	Prosentase Kumulatif (%)	
				Tertinggal	Lolos
3"	75	0.0	0	0	100
2"	50	0.0	0	0	100
3/2"	38.1	0.0	0	0	100
3/4"	19.1	53.1	5.33	5.33	94.67
1/2"	12.7	248.0	24.88	30.21	69.79
4	4.76	601.8	60.39	90.60	9.40
10	2	73.1	7.33	97.93	2.07
Pan	0	20.6	2.07	100	0
Σ		996.6	100.0	324.1	
FM Agregat Kasar		3.24			



Gambar 4.7. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar (Kerikil)

4.2.2.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ASTM C127 - 88 ini mendapatkan nilai berat jenis curah kering, berat jenis SSD dan berat jenis semu serta penyerapan air agregat kasar. Nilai yang didapat ditentukan setelah (24 ± 4) jam. Hasil dari pengujian disajikan dalam tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering di udara	A	2466	2457	gram
Berat benda uji kondisi SSD di udara	B	2500	2500	gram
Berat benda uji didalam air	C	1567	1551	gram

Berat jenis curah kering (S_d)	$A/(B - C)$	2.64	2.59	2.62
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s)	$B/(B - C)$	2.68	2.63	2.66
Berat jenis semu (S_a)	$A/(A - C)$	2.74	2.71	2.73
Penyerapan air (S_w)	$[(B - A) / A] \times 100$	1.38	1.75	1.56

Berdasarkan ASTM C 127 – 88 berat jenis agregat kasar curah jenuh kering permukaan dari hasil percobaan yang telah dilakukan (Tabel 4.8) didapatkan hasil berat jenis curah jenuh kering permukaan (S_s) sebesar $2.68 + 2.63 = \mathbf{2.66}$ sehingga pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.2.3 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Pengujian ASTM C 29/C 29M - 97 ini akan mendapatkan nilai berat volume dari agregat kasar. Nilai yang didapat ditentukan dengan dua kali percobaan yang berbeda, yaitu percobaan dengan rojokan dan percobaan tanpa rojokan. Hasil dari pengujian disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Tanpa Rojokan	Dengan Rojokan	Satuan
Berat silinder	T	2.566	2.566	Kg
Berat silinder + agregat halus	G	16.43	16.74	Kg
Berat agregat halus	G-T	13.9	14.2	Kg
Volume silinder	V	0.010	0.010	m ³
Berat volume	M	1386	1417	Kg/m ³

Didapatkan selisih berat volume agregat kasar dengan rojokan dan tanpa rojokan sebesar dari Tabel 4.9, $1417 \text{ Kg/m}^3 - 1386 \text{ Kg/m}^3 = 31 \text{ Kg/m}^3$. Berdasarkan ASTM C 29/C 29M, - 97 ditetapkan bahwa percobaan berat volume agregat kasar antara percobaan yang dilakukan dengan rojokan dan tanpa rojokan dengan pengujia yang sama tidak boleh lebih dari 40 kg/ m³. Sehingga agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat.

4.2.2.4 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian abrasi agregat kasar ini menggunakan metode abrasi dengan mesin los angles (ASTM C 131 – 03) yang akan mendapatkan nilai keausan suatu agregat kasar. Hasil nilai yang didapat dari pengujian disajikan dalam tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Abrasi Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat agregat kasar sebelum diuji	A	5000	5000	Kg
Berat agregat kasar setelah diuji	B	3871	3859	Kg
Nilai keausan agregat kasar	$C = ((A-B)/A) \times 100\%$	22.58	22.82	%
Rata-rata nilai keausan agregat kasar		22,7		%

Berdasarkan ASTM C 131 - 03, agregat yang baik harus mempunyai tingkat nilai keausan antara 10% hingga maksimum 45 %. Dari Tabel 4.10, didapatkan tingkat keausan agregat kasar sebesar **22,7%**. Maka, agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton *Dry Cast* yang diuji merupakan sampel yang dibuat dengan mesin cetak press hidrolis dengan ukuran silinder 4 x 8 inchi yang diuji berdasarkan skala rentang waktu yang sudah ditentukan pada metodologi awal yaitu (1, 7, 14, 21, 28, 56 Hari) dengan 3 variasi FAS (0.3, 0.4, 0.5) serta 2 variasi tipe semen yaitu semen OPC dan PPC, Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan dalam tabel 4.11 hingga 4.13 serta hasil grafik dari pengujian disajikan dalam gambar 4.9 hingga 4.11.



Gambar 4.8. Mesin Press Hidrolis dengan Cetakan Silinder

4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC FAS 0.5

Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai dengan rencana umur beton dimana setiap data data pengujian serta hasil disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah dalam pembacaan. Dalam proses 1 kali cetak membutuhkan waktu antara 4 menit hingga 7 menit, sesuai dengan kapasitas dari alat. Proses pengeringan sempurna menunggu hingga 24 jam untuk setelah itu dilakukan perendaman dalam air hingga sebelum waktu pengujian. Dalam proses cetak membutuhkan minimal 2 orang untuk pengoprasian, yaitu 1 orang untuk kendali alat dan 1 orang untuk pemuatan dan pemerataan adukan kedalam cetakan/ Berikut data pengujian, hasil beserta grafiknya.

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.5 Semen OPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
1	OPC I-0.5	109	348.1	336.4	20.3	0.5
1	OPC I-0.5	98	313.0			0.5
1	OPC I-0.5	109	348.1			0.5
8	OPC II-0.5	167	533.3	538.6	18.2	0.5
8	OPC II-0.5	175	558.9			0.5
8	OPC II-0.5	164	523.7			0.5
14	OPC III-0.5	184	587.6	583.3	16.4	0.5
14	OPC III-0.5	177	565.2			0.5
14	OPC III-0.5	187	597.2			0.5
24	OPC IV-0.5	199	635.5	625.9	19.4	0.5
24	OPC IV-0.5	189	603.6			0.5
24	OPC IV-0.5	200	638.7			0.5
28	OPC V-0.5	193	616.3	635.5	20.9	0.5
28	OPC V-0.5	206	657.9			0.5
28	OPC V-0.5	198	632.3			0.5
56	OPC VI-0.5	215	686.6	671.7	13.3	0.5
56	OPC VI-0.5	207	661.0			0.5
56	OPC VI-0.5	209	667.4			0.5

Pada Tabel 4.11 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur 1 hari hingga 56 hari. Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.5 semen OPC pada umur 28 hari adalah :

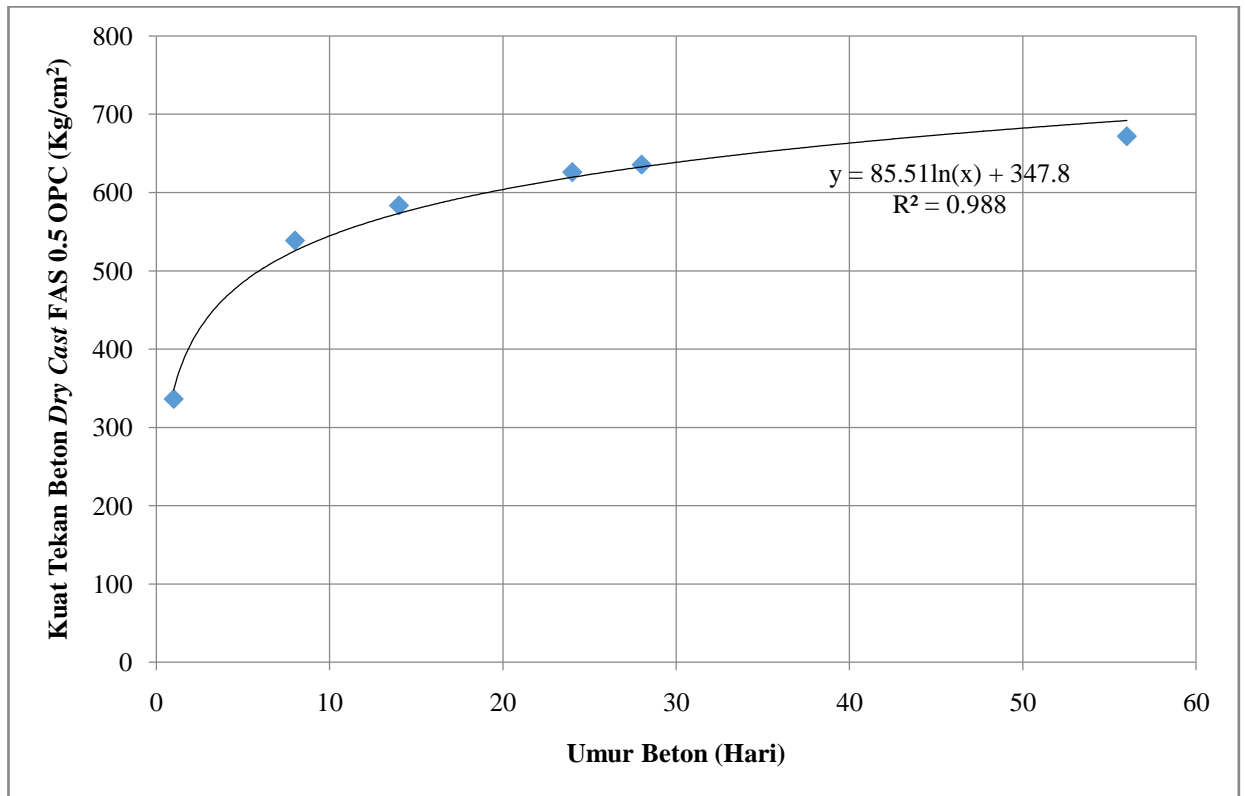
$$[(616,3 + 657,9 + 632,3)/3] = \mathbf{635.5 \text{ Kg/cm}^2}$$

Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast* FAS 0.5 semen OPC pada gambar 4.9 adalah :

$$\mathbf{y = 85.51\ln(x) + 347.8 \text{ dan } R^2 = 0.988}$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi : $f'_c = y = 85.51\ln(x) + 347.8$



Gambar 4.9. Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.5 Semen OPC

4.3.2 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC FAS 0.4

Hasil dari pengujian tekan beton disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.4 Semen OPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
1	OPC I-0.4	125	399.2	380.0	17.8	0.4
1	OPC I-0.4	118	376.8			0.4
1	OPC I-0.4	114	364.1			0.4
7	OPC II-0.4	203	648.3	649.3	8.0	0.4
7	OPC II-0.4	206	657.9			0.4
7	OPC II-0.4	201	641.9			0.4
14	OPC III-0.4	250	798.4	788.8	9.6	0.4
14	OPC III-0.4	247	788.8			0.4
14	OPC III-0.4	244	779.2			0.4
22	OPC III-0.4	260	830.3	832.4	6.6	0.4
22	OPC III-0.4	263	839.9			0.4
22	OPC III-0.4	259	827.1			0.4
28	OPC IV-0.4	270	862.2	858.0	4.9	0.4
28	OPC IV-0.4	267	852.7			0.4
28	OPC IV-0.4	269	859.0			0.4
56	OPC VI-0.4	304	970.8	966.6	13.3	0.4
56	OPC VI-0.4	298	951.7			0.4
56	OPC VI-0.4	306	977.2			0.4

Pada Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur awal yaitu 1 hari hingga 2 bulan

Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.4 semen OPC pada umur 28 hari :

$$[(862,2 + 852,7 + 859)/3] = \mathbf{858 \text{ Kg/cm}^2}$$

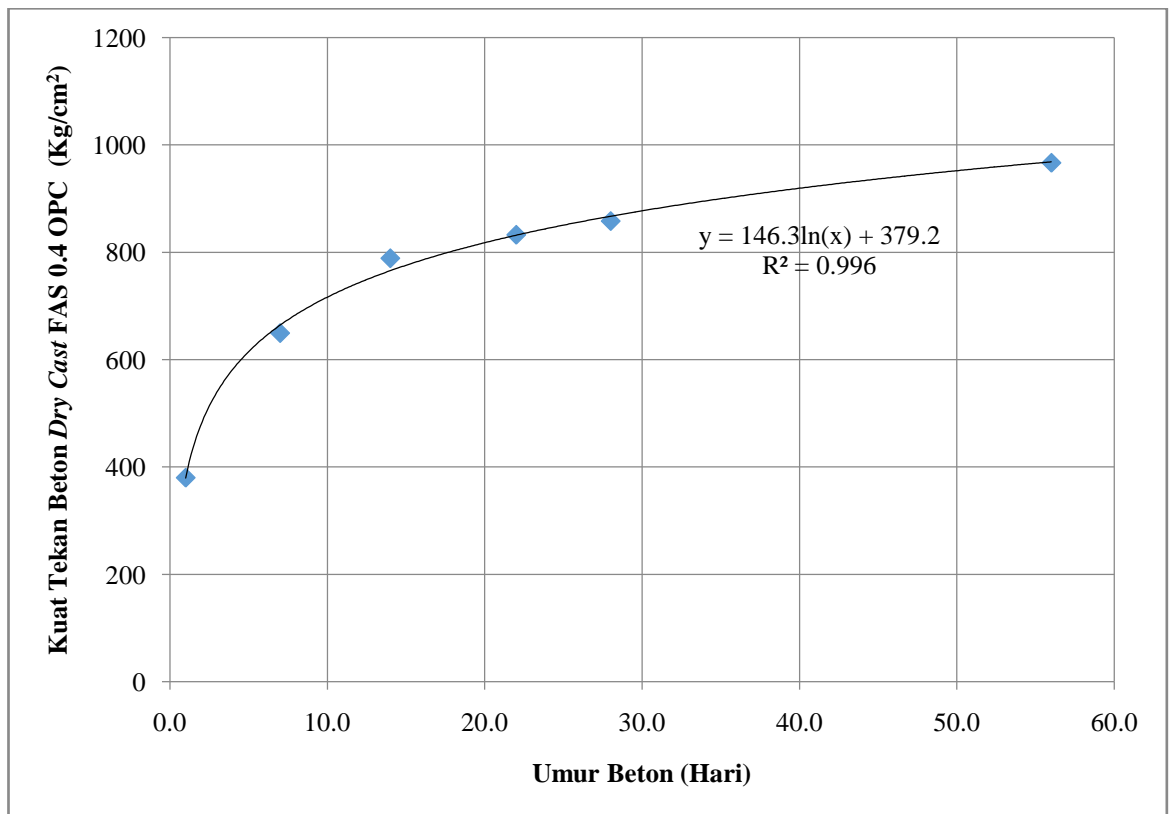
Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast* FAS 0.4 semen OPC pada gambar 4.10 adalah :

$$y = 146.3\ln(x) + 379.2 \text{ dan } R^2 = 0.996$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi :

$$f'_c = 146.3\ln(x) + 379.2$$



Gambar 4.10. Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.4 Semen OPC

4.3.3 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC FAS 0.3

Hasil dari pengujian tekan beton disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.3 Semen OPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
2	OPC I-0.3	208	664.2	665.3	4.9	0.3
2	OPC I-0.3	207	661.0			0.3
2	OPC I-0.3	210	670.6			0.3
9	OPC II-0.3	298	951.7	949.5	6.6	0.3
9	OPC II-0.3	295	942.1			0.3
9	OPC II-0.3	299	954.8			0.3
14	OPC III-0.3	325	1037.9	1047.5	9.6	0.3
14	OPC III-0.3	331	1057.0			0.3
14	OPC III-0.3	328	1047.5			0.3
22	OPC IV-0.3	372	1188.0	1186.9	4.9	0.3
22	OPC IV-0.3	370	1181.6			0.3
22	OPC IV-0.3	373	1191.2			0.3
30	OPC V-0.3	373	1191.2	1209.3	16.4	0.3
30	OPC V-0.3	383	1223.1			0.3
30	OPC V-0.3	380	1213.5			0.3
56	OPC VI-0.3	418	1334.9	1333.8	8.0	0.3
56	OPC VI-0.3	420	1341.3			0.3
56	OPC VI-0.3	415	1325.3			0.3

Pada Tabel 4.13 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur awal yaitu 1 hari hingga 2 bulan

Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.3 semen OPC pada umur 56 hari :

$$[(1334.9 + 1341.3 + 1325.3)/3] = \mathbf{1333.8 \text{ Kg/cm}^2}$$

Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast*

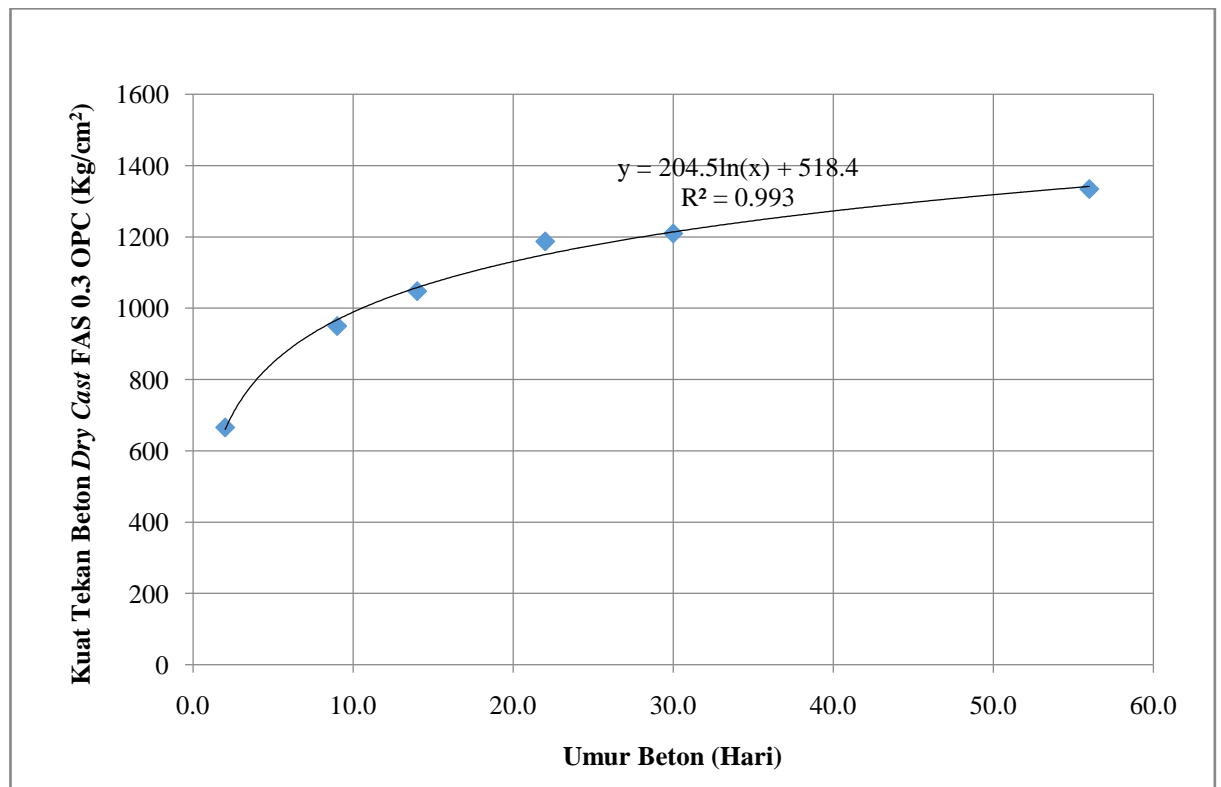
FAS 0.3 semen OPC pada gambar 4.11 adalah :

$$y = 204.5\ln(x) + 518.4 \text{ dan } R^2 = 0.993$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi :

$$f'_c = 204.5\ln(x) + 518.4$$



Gambar 4.11. Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.3 Semen OPC

4.3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* PPC FAS 0.5

Hasil dari pengujian tekan beton disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.5 Semen PPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
1	PPC I-0.5	67	214.0	206.5	8.0	0.5
1	PPC I-0.5	62	198.0			0.5
1	PPC I-0.5	65	207.6			0.5
7	PPC II-0.5	132	421.5	427.9	8.4	0.5
7	PPC II-0.5	133	424.7			0.5
7	PPC II-0.5	137	437.5			0.5
15	PPC III-0.5	167	533.3	540.8	8.0	0.5
15	PPC III-0.5	169	539.7			0.5
15	PPC III-0.5	172	549.3			0.5
21	PPC IV-0.5	170	542.9	549.3	8.4	0.5
21	PPC IV-0.5	171	546.1			0.5
21	PPC IV-0.5	175	558.9			0.5
28	PPC V-0.5	195	622.7	608.9	16.4	0.5
28	PPC V-0.5	185	590.8			0.5
28	PPC V-0.5	192	613.1			0.5
60	PPC VI-0.5	209	667.4	676.0	9.8	0.5
60	PPC VI-0.5	211	673.8			0.5
60	PPC VI-0.5	215	686.6			0.5

Pada Tabel 4.14 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur awal yaitu 1 hari hingga 2 bulan

Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.5 semen PPC pada umur 28 hari :

$$[(622.7 + 590.8 + 613.1)/3] = \mathbf{608.9 \text{ Kg/cm}^2}$$

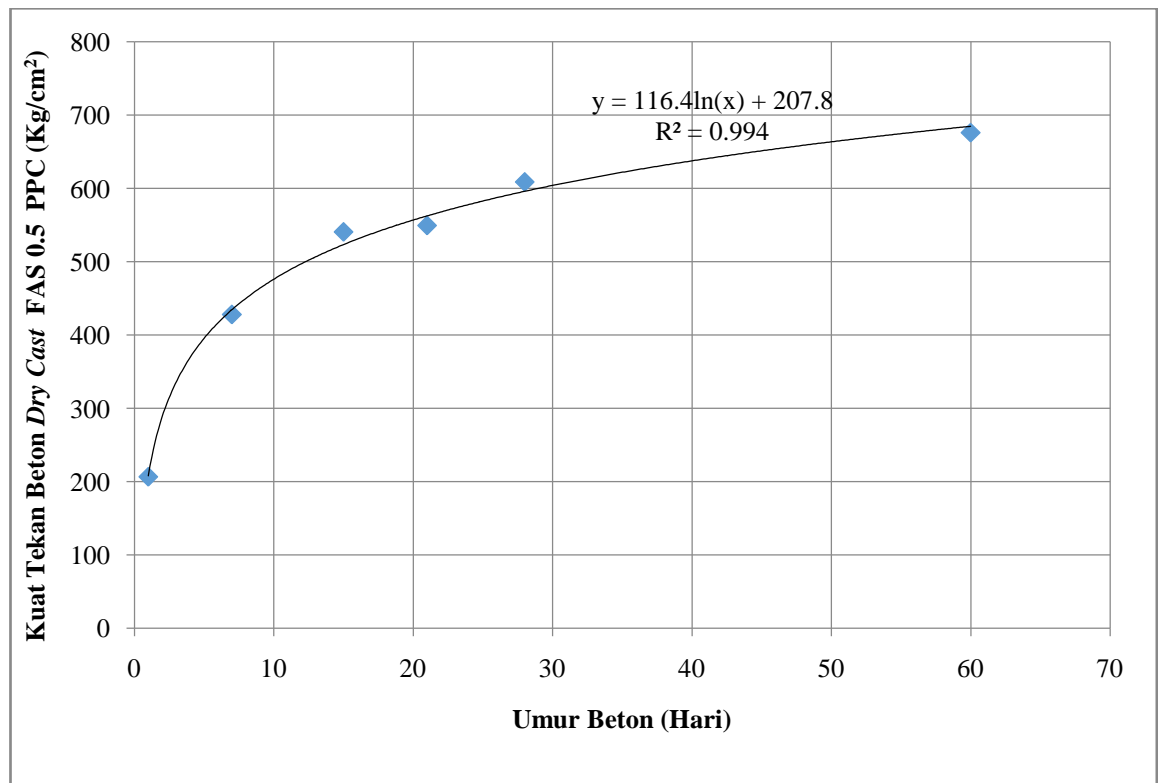
Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast* FAS 0.3 semen PPC pada gambar 4.12 adalah :

$$y = 116.4\ln(x) + 207.8 \text{ dan } R^2 = 0.994$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi :

$$f'_c = 116.4\ln(x) + 207.8$$



Gambar 4.12 Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.5 Semen PPC

4.3.5 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* PPC FAS 0.4

Hasil dari pengujian tekan beton disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.4 Semen PPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
1	PPC I-0.4	84	268.3	267.2	1.8	0.4
1	PPC I-0.4	84	268.3			0.4
1	PPC I-0.4	83	265.1			0.4
7	PPC II-0.4	201	641.9	633.4	8.0	0.4
7	PPC II-0.4	196	625.9			0.4
7	PPC II-0.4	198	632.3			0.4
14	PPC III-0.4	224	715.3	713.2	12.9	0.4
14	PPC III-0.4	219	699.4			0.4
14	PPC III-0.4	227	724.9			0.4
22	PPC IV-0.4	249	795.2	785.6	11.5	0.4
22	PPC IV-0.4	242	772.8			0.4
22	PPC IV-0.4	247	788.8			0.4
28	PPC V-0.4	269	859.0	846.3	16.9	0.4
28	PPC V-0.4	267	852.7			0.4
28	PPC V-0.4	259	827.1			0.4
56	PPC VI-0.4	294	938.9	944.2	4.9	0.4
56	PPC VI-0.4	297	948.5			0.4
56	PPC VI-0.4	296	945.3			0.4

Pada Tabel 4.15 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur awal yaitu 1 hari hingga 2 bulan

Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.4 semen PPC pada umur 28 hari :

$$[(859 + 852.7 + 827.1)/3] = \mathbf{846.3 \text{ Kg/cm}^2}$$

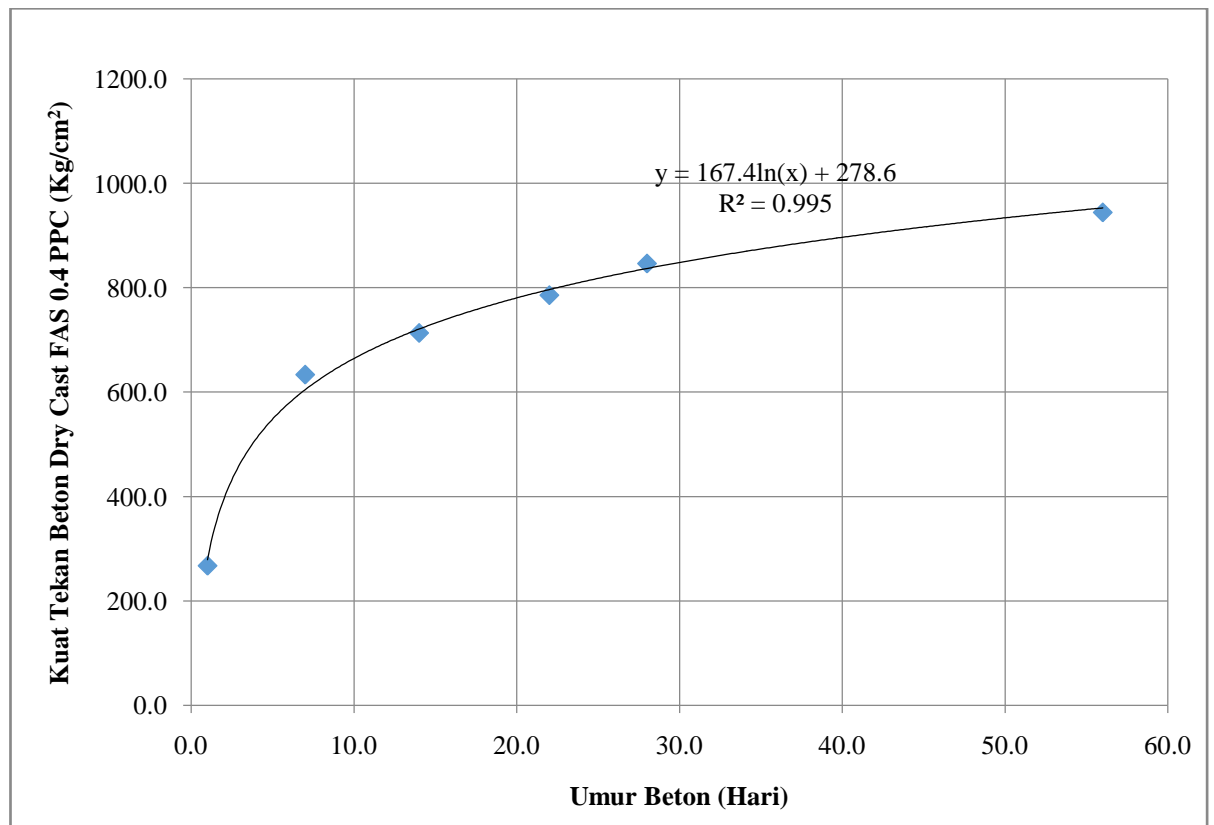
Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast* FAS 0.4 semen PPC pada gambar 4.13 adalah :

$$= 167.4\ln(x) + 278.6 \text{ dan } R^2 = 0.995$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi :

$$f'_c = 167.4\ln(x) + 278.6$$



Gambar 4.13 Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.4 Semen PPC

4.3.6 Pengujian Kuat Tekan Beton *Dry Cast* PPC FAS 0.3

Hasil dari pengujian tekan beton disajikan dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton FAS 0.3 Semen PPC

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	Deviasi (Kg/cm ²)	FAS
2	PPC I-0.3	186	594.0	604.6	11.2	0.3
2	PPC I-0.3	189	603.6			0.3
2	PPC I-0.3	193	616.3			0.3
9	PPC II-0.3	297	948.5	938.9	19.4	0.3
9	PPC II-0.3	298	951.7			0.3
9	PPC II-0.3	287	916.5			0.3
16	PPC III-0.3	325	1037.9	1049.6	12.9	0.3
16	PPC III-0.3	328	1047.5			0.3
16	PPC III-0.3	333	1063.4			0.3
22	PPC IV-0.3	349	1114.5	1107.1	10.3	0.3
22	PPC IV-0.3	343	1095.4			0.3
22	PPC IV-0.3	348	1111.3			0.3
30	PPC V-0.3	376	1200.7	1184.8	17.8	0.3
30	PPC V-0.3	372	1188.0			0.3
30	PPC V-0.3	365	1165.6			0.3
56	PPC VI-0.3	408	1304.2	1276.2	25.3	0.3
56	PPC VI-0.3	397	1269.3			0.3
56	PPC VI-0.3	393	1255.0			0.3

Pada Tabel 4.16 menunjukkan hasil pengujian karakteristik beton *dry cast* mulai pada umur awal yaitu 1 hari hingga 2 bulan

Nilai rata-rata kuat tekan *dry cast* FAS 0.3 semen PPC pada umur 56 hari :

$$[(1304.2 + 1269.3 + 1255)/3] = \mathbf{1276.2 \text{ Kg/cm}^2}$$

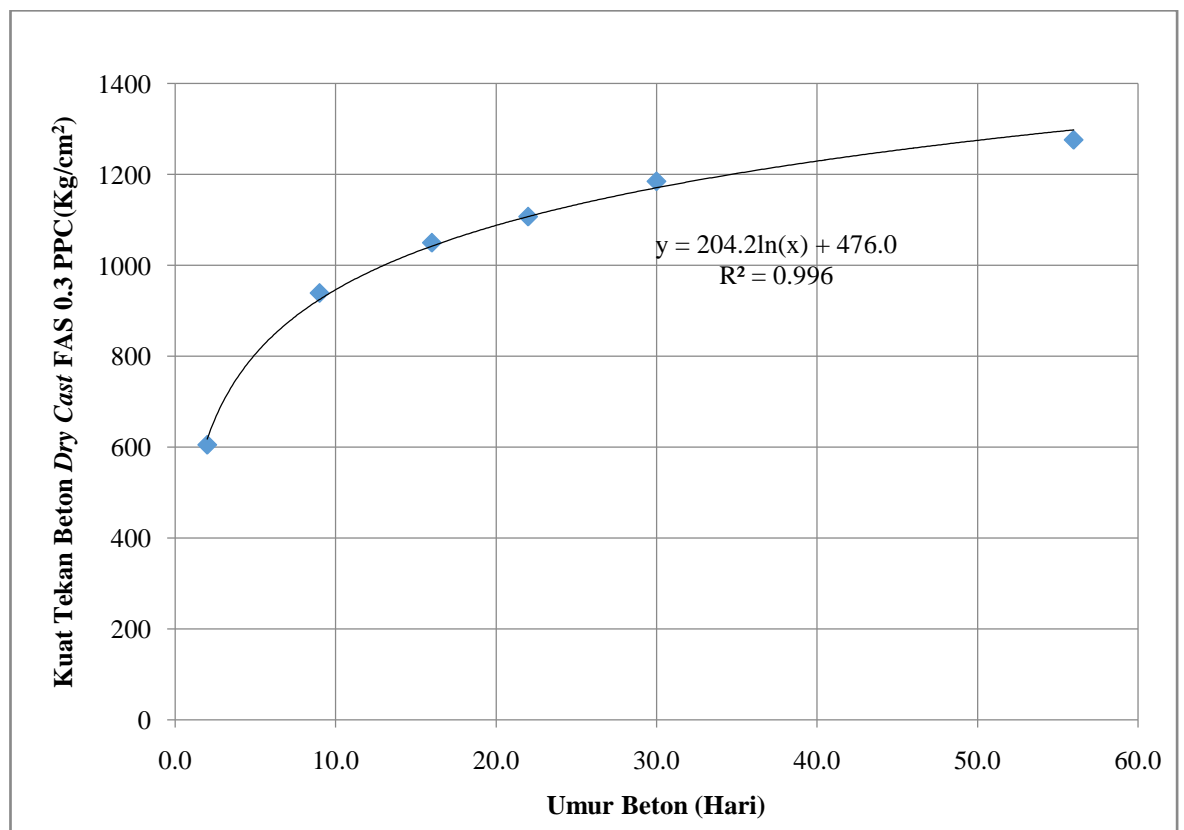
Serta mendapatkan nilai persamaan dari kurva perkembangan kuat tekan *dry cast* FAS 0.3 semen PPC pada gambar 4.14 adalah :

$$y = 204.2\ln(x) + 476 \text{ dan } R^2 = 0.996$$

Dimana nilai (y) adalah kuat tekan (f'_c) dan (x) adalah umur beton *dry cast*.

Sehingga persamaan menjadi :

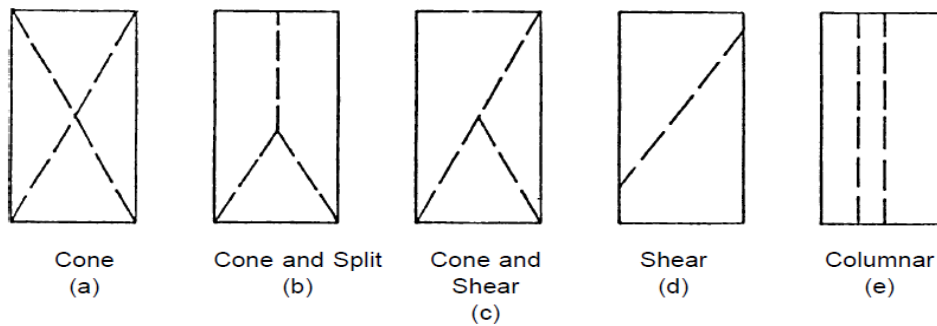
$$f'_c = 204.2\ln(x) + 476$$



Gambar 4.14 Perkembangan Kuat Tekan Beton Dry Cast FAS 0.3 Semen PPC

4.3.7 Pengamatan Perilaku Kehancuran Tekan Pada Beton *Dry Cast*

Pengamatan ini dilakukan ketika pengujian kuat tekan beton dengan sampel sesuai dengan variasi FAS 0.4 dan variasi tipe semen (OPC dan PPC), dalam pengamatan ini tidak mengambil keseluruhan sampel uji namun hanya mewakili beberapa dari setiap variasi. Pengamatan perilaku kehancuran didasari dengan metode ASTM C 39/C 39M.



Gambar 4.15 Sketsa Gambar/Tipe Bentuk Kehancuran Pada Benda Uji Silinder

Hasil pengamatan perilaku kehancuran disajikan dalam Tabel 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17 Hasil Pengamatan Perilaku Kehancuran *Dry Cast* OPC 0.4

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Tipe Kehancuran
1	OPC I-0.4	110	351.3	<i>Cone</i>
1	OPC I-0.4	125	399.2	<i>Cone</i>
1	OPC I-0.4	118	376.8	<i>Cone</i>
1	OPC I-0.4	114	364.1	<i>Cone and Split</i>
7	OPC II-0.4	203	648.3	<i>Cone and Split</i>
7	OPC II-0.4	219	699.4	<i>Cone and Split</i>
7	OPC II-0.4	206	657.9	<i>Cone and Split</i>
7	OPC II-0.4	201	641.9	<i>Cone and Shear</i>
14	OPC III-0.4	250	798.4	<i>Cone and Split</i>
14	OPC III-0.4	240	766.4	<i>Columnar</i>
14	OPC III-0.4	244	779.2	<i>Cone and Split</i>
14	OPC III-0.4	247	788.8	<i>Cone and Shear</i>
22	OPC IV-0.4	263	839.9	<i>Cone and Split</i>
22	OPC IV-0.4	260	830.3	<i>Cone and Split</i>
22	OPC IV-0.4	267	852.7	<i>Columnar</i>
22	OPC IV-0.4	259	827.1	<i>Columnar</i>
28	OPC V-0.4	270	862.2	<i>Cone and Split</i>
28	OPC V-0.4	275	878.2	<i>Columnar</i>
28	OPC V-0.4	267	852.7	<i>Columnar</i>
28	OPC V-0.4	269	859.0	<i>Cone and Split</i>
56	OPC VI-0.4	304	970.8	<i>Columnar</i>
56	OPC VI-0.4	296	945.3	<i>Cone and Split</i>
56	OPC VI-0.4	306	977.2	<i>Columnar</i>
56	OPC VI-0.4	298	951.7	<i>Columnar</i>

Tabel 4.18 Hasil Pengamatan Perilaku Kehancuran *Dry Cast* PPC 0.4

Umur (Hari)	Kode Sampel	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Tipe Kehancuran
1	PPC I-0.4	82	261.9	<i>Cone</i>
1	PPC I-0.4	84	268.3	<i>Cone</i>
1	PPC I-0.4	84	268.3	<i>Cone</i>
1	PPC I-0.4	83	265.1	<i>Cone</i>
7	PPC II-0.4	201	641.9	<i>Cone and Split</i>
7	PPC II-0.4	196	625.9	<i>Cone and Split</i>
7	PPC II-0.4	187	597.2	<i>Cone and Split</i>
7	PPC II-0.4	198	632.3	<i>Cone and Split</i>
14	PPC III-0.4	224	715.3	<i>Cone and Split</i>
14	PPC III-0.4	216	689.8	<i>Columnar</i>
14	PPC III-0.4	219	699.4	<i>Cone and Split</i>
14	PPC III-0.4	227	724.9	<i>Columnar</i>
22	PPC IV-0.4	242	772.8	<i>Columnar</i>
22	PPC IV-0.4	249	795.2	<i>Cone and Split</i>
22	PPC IV-0.4	238	760.0	<i>Cone and Split</i>
22	PPC IV-0.4	247	788.8	<i>Shear</i>
28	PPC V-0.4	269	859.0	<i>Columnar</i>
28	PPC V-0.4	267	852.7	<i>Columnar</i>
28	PPC V-0.4	254	811.1	<i>Cone and Split</i>
28	PPC V-0.4	259	827.1	<i>Columnar</i>
56	PPC VI-0.4	290	926.1	<i>Columnar</i>
56	PPC VI-0.4	294	938.9	<i>Cone and Split</i>
56	PPC VI-0.4	297	948.5	<i>Cone and Split</i>
56	PPC VI-0.4	296	945.3	<i>Columnar</i>

Dari pengamatan perilaku kehancuran pada pengujian diatas didapatkan beberapa perilaku yang muncul, yaitu perilaku *Columnar*, *Cone*, *Cone and Shear* dan *Cone and Split*, dimana perilaku terbanyak yang muncul adalah ***Columnar*** dan ***Cone and Split***. Semakin tinggi kuat tekan maka perubahan perilaku kehancuran dari sampel juga akan berubah.



Gambar 4.16 Perilaku Kehancuran *Cone and Split*



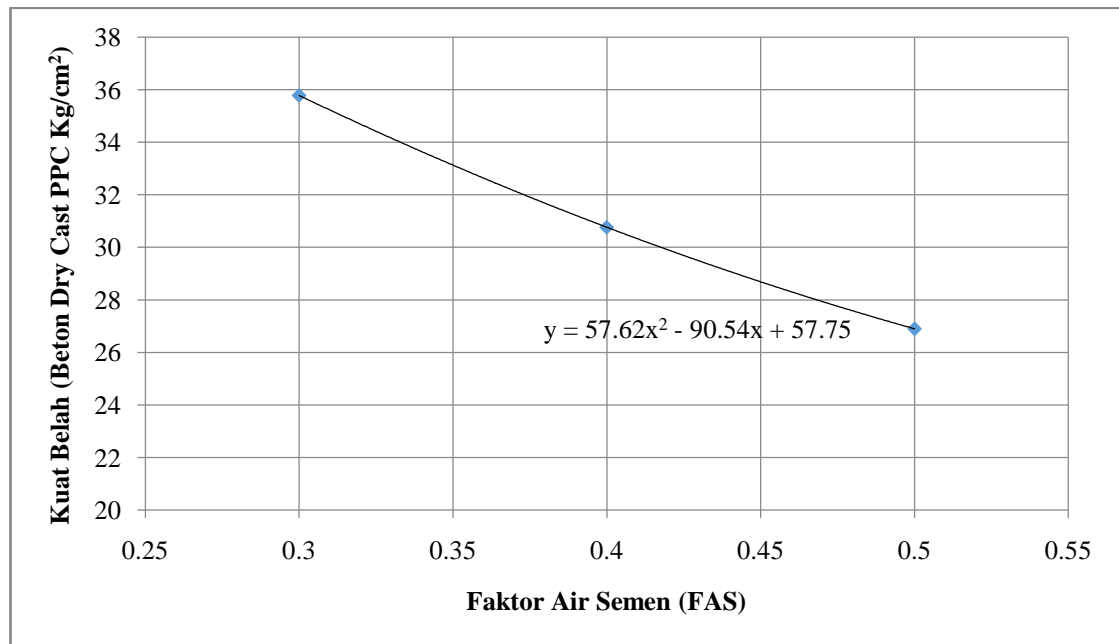
Gambar 4.17 Perilaku Kehancuran *Shear*

4.2 Pengujian Kuat Belah Beton

Kuat belah beton *Dry Cast* yang diuji merupakan sampel yang dibuat dengan mesin cetak press hidrolis dengan ukuran silinder 4 x 8 inchi yang diuji berdasarkan umur 28 hari dengan 3 variasi FAS (0.3, 0.4, 0.5) serta 2 variasi tipe semen yaitu semen OPC dan PPC, Hasil pengujian kuat belah beton disajikan dalam tabel 4.19 hingga 4.20 serta hasil grafik dari pengujian disajikan dalam gambar 4.17 hingga 4.18.

Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kuat Belah Beton *Dry Cast* Tipe Semen OPC

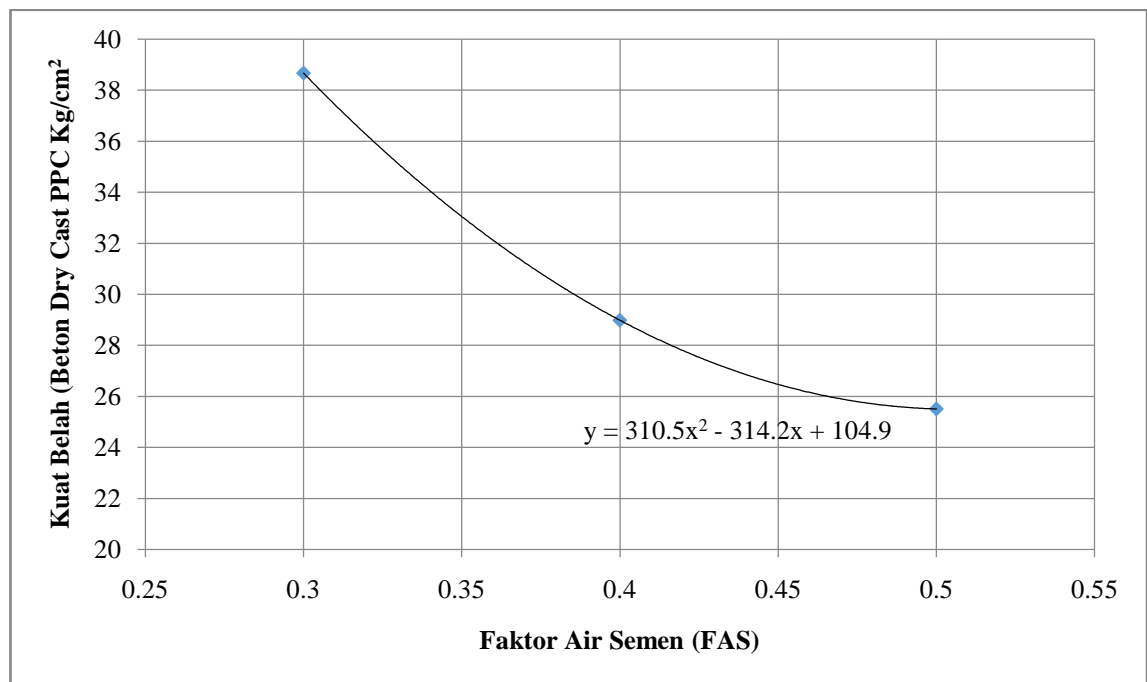
No.	Kode Sampel	FAS	Umur	Beban Maksimum (kN)	Kode Sampel	Ukuran Silinder	Splite Tensile Strength (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)
1	OPC-I	0.5	28	80	OPC-0.5	4 x 8 in.	25.145	26.9
2	OPC-I	0.5	28	97		4 x 8 in.	30.510	
3	OPC-I	0.5	28	88		4 x 8 in.	27.576	
4	OPC-I	0.5	28	84		4 x 8 in.	26.403	
5	OPC-I	0.5	28	79		4 x 8 in.	24.831	
6	OPC-II	0.4	28	96	OPC-0.4	4 x 8 in.	30.175	30.8
7	OPC-II	0.4	28	91		4 x 8 in.	28.750	
8	OPC-II	0.4	28	104		4 x 8 in.	32.563	
9	OPC-II	0.4	28	94		4 x 8 in.	29.630	
10	OPC-II	0.4	28	104		4 x 8 in.	32.689	
11	OPC-III	0.3	28	127	OPC-0.3	4 x 8 in.	39.897	35.8
12	OPC-III	0.3	28	104		4 x 8 in.	32.689	
13	OPC-III	0.3	28	105		4 x 8 in.	33.003	
14	OPC-III	0.3	28	111		4 x 8 in.	34.889	
15	OPC-III	0.3	28	122		4 x 8 in.	38.431	



Gambar 4.18 Perkembangan Kuat Belah Beton *Dry Cast* OPC

Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kuat Belah Beton *Dry Cast* Tipe Semen PPC

No.	Kode Sampel	FAS	Umur	Beban Maksimum (kN)	Kode Sampel	Ukuran Silinder	Split Tensile Strength (Kg/cm²)	Rata-rata (Kg/cm²)
1	PPC-I	0.5	28	94	PPC-0,5	4 x 8 in.	29.6	25.5
2	PPC-I	0.5	28	77		4 x 8 in.	24.1	
3	PPC-I	0.5	28	73		4 x 8 in.	22.9	
4	PPC-I	0.5	28	81		4 x 8 in.	25.4	
5	PPC-I	0.5	28	81		4 x 8 in.	25.5	
6	PPC-II	0.4	28	86	PPC-0,4	4 x 8 in.	27.0	29.0
7	PPC-II	0.4	28	85		4 x 8 in.	26.7	
8	PPC-II	0.4	28	105		4 x 8 in.	33.0	
9	PPC-II	0.4	28	102		4 x 8 in.	32.1	
10	PPC-II	0.4	28	83		4 x 8 in.	26.1	
11	PPC-III	0.3	28	123	PPC-0,3	4 x 8 in.	38.7	38.7
12	PPC-III	0.3	28	122		4 x 8 in.	38.3	
13	PPC-III	0.3	28	115		4 x 8 in.	36.1	
14	PPC-III	0.3	28	137		4 x 8 in.	43.0	
15	PPC-III	0.3	28	118		4 x 8 in.	37.2	



Gambar 4.19 Perkembangan Kuat Belah Beton *Dry Cast* PPC

Berdasarkan gambar 4.18 menunjukkan kurva perkembangan kuat menggunakan persamaan *logarithmic* dari hasil pengujian karakteristik kuat belah beton *dry cast* OPC pada umur 28 hari, didapat :

$$y = 57.62x^2 - 90.54x + 57.75$$

Serta berdasarkan gambar 4.19 menunjukkan juga persamaan dengan *logarithmic* dari hasil pengujian karakteristik kuat belah beton *dry cast* PPC pada umur 28 hari didapat :

$$y = 310.5x^2 - 314.2x + 104.9$$

Dimana nilai (y) adalah kuat belah beton *dry cast* dan (x) adalah FAS *dry cast*.

4.3 Pengujian Kuat Lentur Beton

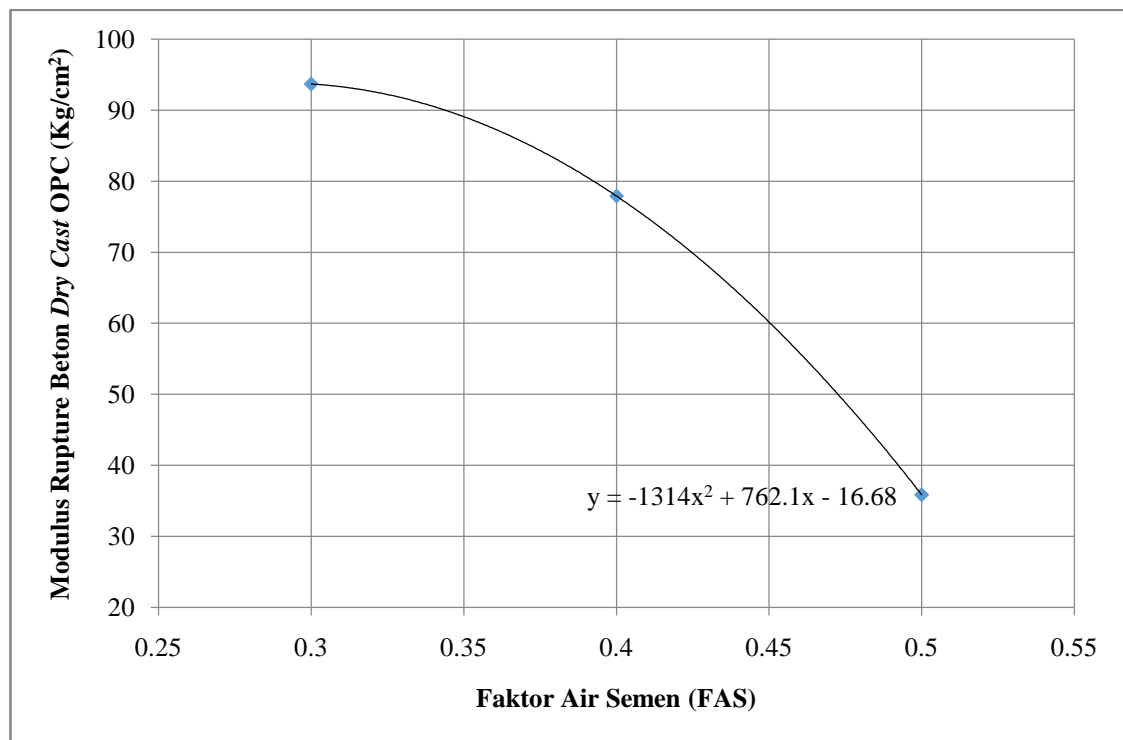
Kuat lentur beton *Dry Cast* yang diuji merupakan sampel balok yang dibuat dengan ukuran penampang 15 x 15 cm dengan panjang 60 cm yang diuji berdasarkan umur 28 hari dengan 3 variasi FAS (0.3, 0.4, 0.5) serta 2 variasi tipe semen yaitu semen OPC dan PPC, Hasil pengujian kuat lentur beton disajikan dalam tabel 4.21 hingga 4.22 serta hasil grafik dari pengujian disajikan dalam gambar 4.19 hingga 4.20.



Gambar 4.20 Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast*

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* Tipe Semen OPC

Kode Sampel	Umur	Beban Lentur Maks. (kN)	Beban Lentur Maks. (Kg)	Moduluse Rupture (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	FAS
OPC-0,5	28	12.6	1287.4	34.3	35.9	0.5
OPC-0,5	28	13.7	1401.65	37.4		0.5
OPC-0,4	28	29.3	2987.8	79.7	77.9	0.4
OPC-0,4	28	28.0	2855.2	76.1		0.4
OPC-0,3	28	34.2	3487.4	93.0	93.7	0.3
OPC-0,3	28	34.7	3538.4	94.4		0.3



Gambar 4.21 Perkembangan Kuat Lentur Beton *Dry Cast* Semen OPC

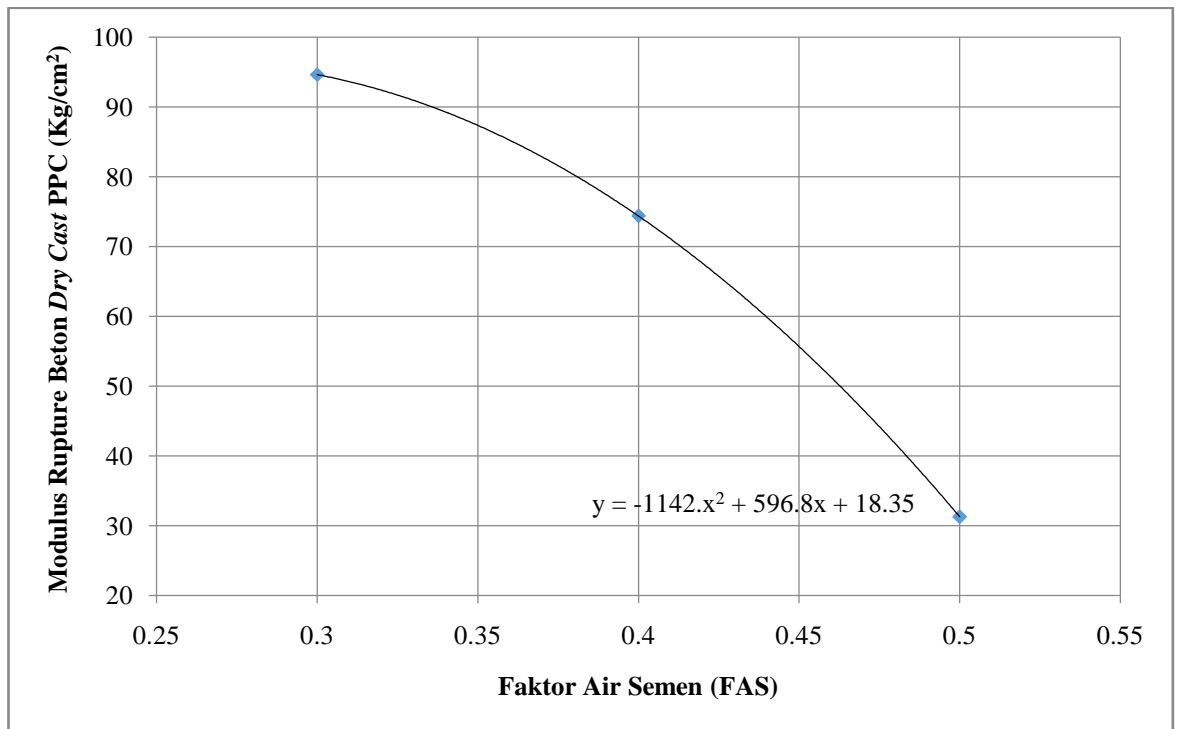
Berdasarkan gambar 4.20 menunjukkan persamaan *polynomial* dari hasil pengujian karakteristik kuat belah beton *dry cast* OPC pada umur 28 hari didapat :

$$y = -1314x^2 + 762.1x - 16.68$$

Dimana nilai (y) adalah *modulus rupture dry cast* OPC dan (x) adalah FAS.

Tabel 4.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* Tipe Semen PPC

Kode Sampel	Umur	Beban Lentur Maks. (kN)	Beban Lentur Maks. (Kg)	Moduluse Rupture (Kg/cm ²)	Rata-rata (Kg/cm ²)	FAS
PPC-0,5	28	11.9	1213.5	32.4	31.3	0.5
PPC-0,5	28	11.1	1131.9	30.2		0.5
PPC-0,4	28	27.1	2763.4	73.7	74.4	0.4
PPC-0,4	28	27.6	2814.4	75.1		0.4
PPC-0,3	28	34.6	3528.2	94.1	94.6	0.3
PPC-0,3	28	35.0	3569.0	95.2		0.3



Gambar 4.22 Perkembangan Kuat Lentur Beton *Dry Cast* Semen PPC

Berdasarkan gambar 4.21 menunjukkan persamaan *polynomial* dari hasil pengujian karakteristik kuat belah beton *dry cast* PPC pada umur 28 hari didapat :

$$y = -1142.x^2 + 596.8x + 18.35$$

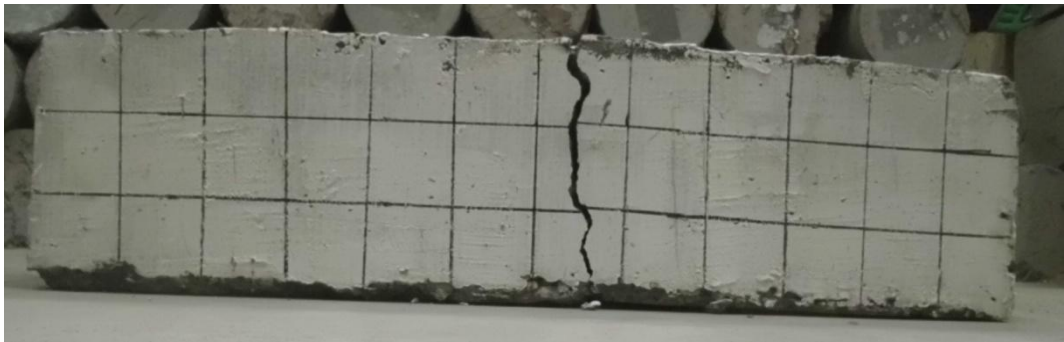
Dimana nilai (y) adalah *modulus rupture dry cast* PPC dan (x) adalah FAS.



Gambar 4.23 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,3 A



Gambar 4.24 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,3B



Gambar 4.25 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,4A



Gambar 4.26 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,4B



Gambar 4.27 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,5A



Gambar 4.28 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* OPC 0,5B



Gambar 4.29 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,3A



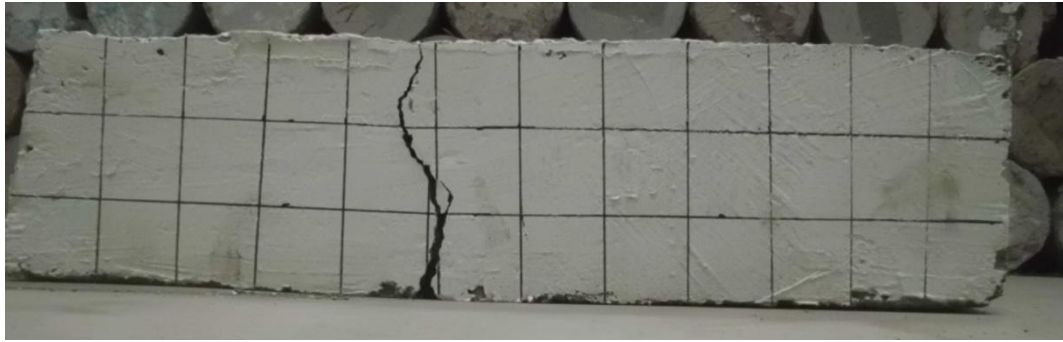
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,3B



Gambar 4.31 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,4A



Gambar 4.32 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,4B



Gambar 4.33 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,5A



Gambar 4.34 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton *Dry Cast* PPC 0,5B

4.4 Berat Volume Beton *Dry Cast*

Tabel 4.23 Berat Volume Beton *Dry Cast*

Sampel	FAS	Kode Sampel	Ukuran (Inch)		Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata-rata (Kg/m ³)
			D	L			
Silinder	0.5	VI-0.5	4	8	4.026	2442.9	2479.1
	0.5		4	8	3.998	2425.9	
	0.5		4	8	4.026	2442.9	
	0.5		4	8	4.03	2445.3	
Silinder	0.4	VI-0.4	4	8	4.066	2467.1	
	0.4		4	8	4.034	2447.7	
	0.4		4	8	4.07	2469.6	
	0.4		4	8	4.032	2446.5	
Silinder	0.3	VI-0.3	4	8	4.216	2558.1	
	0.3		4	8	4.132	2507.2	
	0.3		4	8	4.202	2549.6	
	0.3		4	8	4.196	2546.0	

BAB V

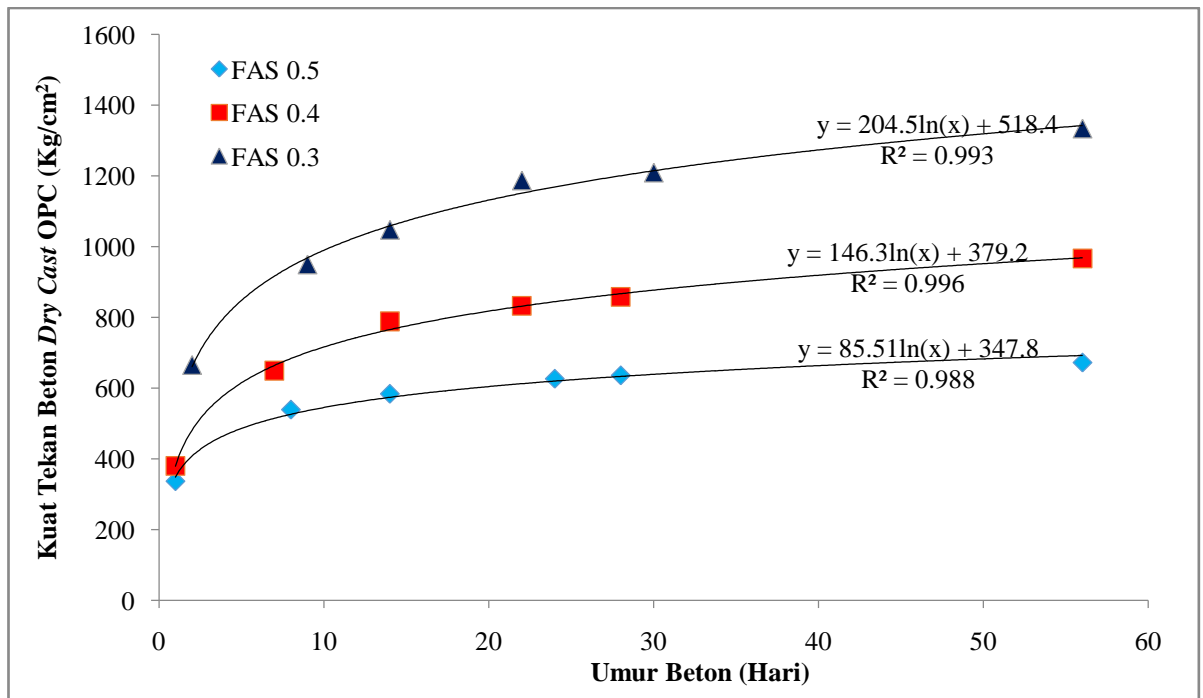
ANALISA DATA

5.1 Umum

Pembahasan yang akan diulas dalam bab ini adalah mengenai analisis data hasil pengujian pada bab sebelumnya. Untuk mempermudah dalam pembacaanya perlu diurutkan sesuai kerangka metodologi penelitian, dimana dibagi menjadi beberapa sub bab, agar setiap analisis dari beberapa hasil pengujian dapat dipahami dengan baik, berikut akan diuraikan.

5.2 Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Analisa yang dilakukan pada pembahasan ini adalah penggabungan grafik dan data dari hasil pengujian kuat tekan beton *dry cast* dengan ketiga variasi tipe FAS yaitu (0.3 , 0.4 dan 0.5) dengan masing masing dari tipe semen OPC dan PPC.



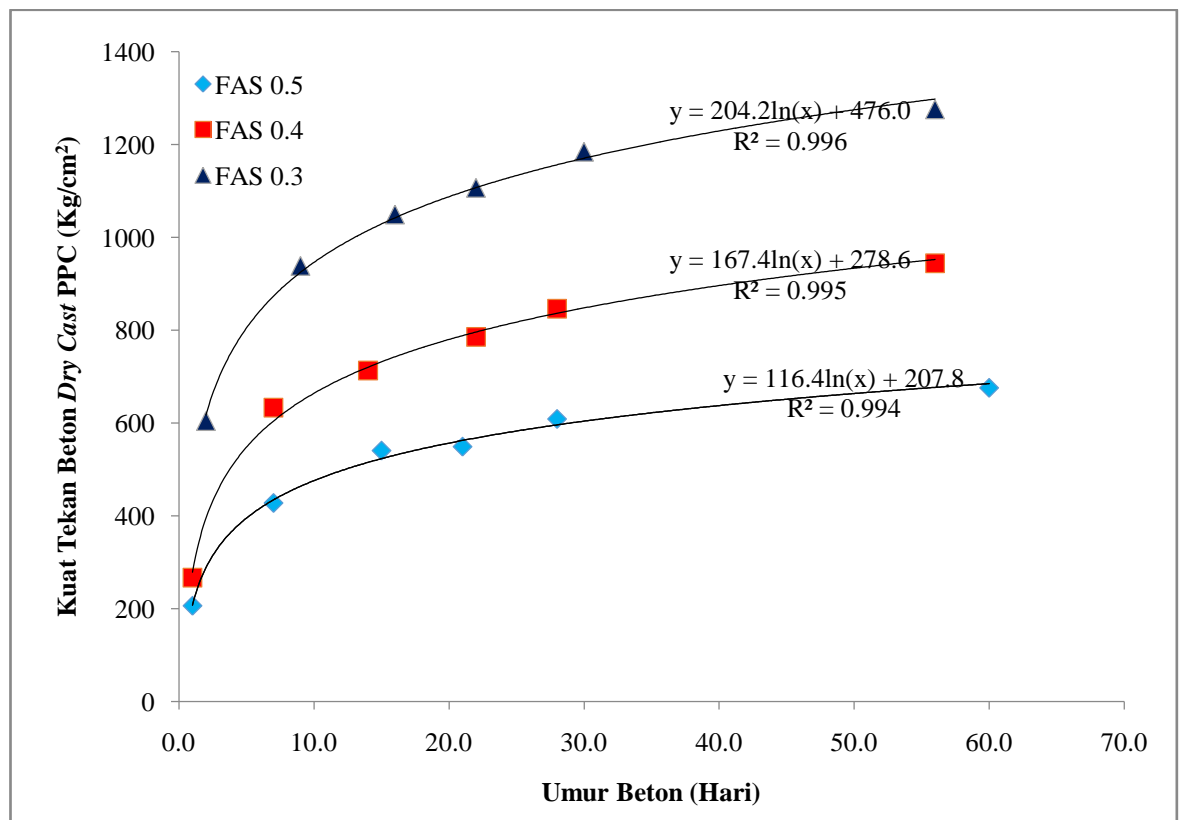
Gambar 5.1 Perkembangan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC

Berdasarkan Gambar 5.1 yaitu grafik perkembangan kuat tekan beton *dry cast* OPC, terlihat bahwa kurva dengan kuat tekan tertinggi diperoleh pada kurva FAS 0.3, dan kurva perkembangan dengan kuat tekan paling rendah adalah FAS 0.5. Perbandingan nilai kuat tekan betonnya pada umur 1, 7, 14 21, 28 dan 56 hari adalah sebagai berikut :

Tabel 5.1 Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC

FAS	Kuat tekan beton <i>dry cast</i> (f'_c)	R^2	Umur (x)						Satuan
			1	7	14	21	28	56	Hari
0.3	$f'_c = 204.5\ln(x) + 518.4$	0.993	518.4	916.3	1058.1	1141.0	1199.8	1341.6	Kg/cm ²
0.4	$f'_c = 146.3\ln(x) + 379.2$	0.996	379.2	663.9	765.3	824.6	866.7	968.1	Kg/cm ²
0.5	$f'_c = 85.51\ln(x) + 347.8$	0.988	347.8	514.2	573.5	608.1	632.7	692.0	Kg/cm ²

Berdasarkan Tabel 5.1 perbandingan perkembangan kuat tekan beton *dry cast* OPC, perkembangan kuat tekan paling besar dipengaruhi oleh faktor air semen (FAS) dimana air dan semen adalah sebagai bahan campuran, semakin kecil nilai FAS maka kekuatan beton *dry cast* akan naik, terlihat hasil pada umur 28 hari nilai tertinggi yang didapat dari pengujian adalah 1199.8 Kg/cm² yaitu pada FAS 0.3.



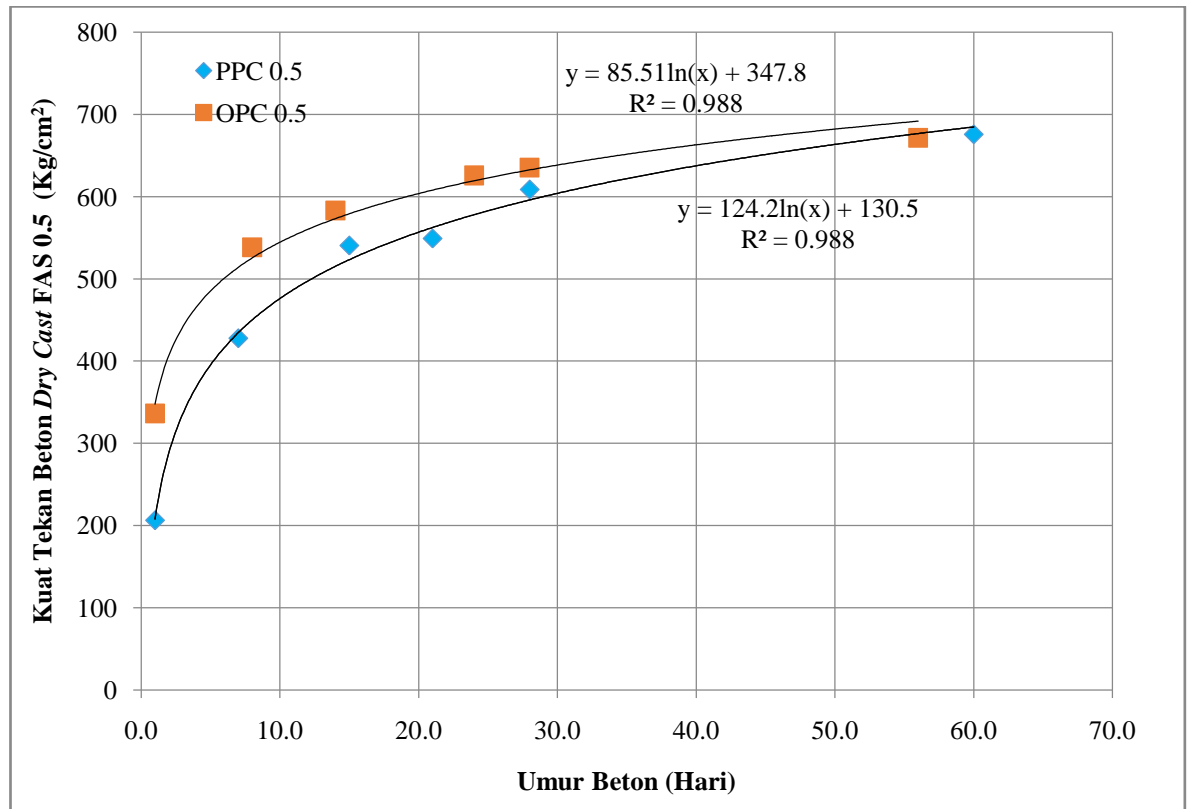
Gambar 5.2 Perkembangan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* PPC

Tabel 5.2 Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* PPC

FAS	Kuat tekan beton dry cast ($f'c$)	R^2	Umur						Satuan
			1	7	14	21	28	56	Hari
0,3	$f'c = 204.2\ln(x) + 476.0$	0.996	476.0	873.4	1014.9	1097.7	1156.4	1298.0	Kg/cm ²
0,4	$f'c = 167.4\ln(x) + 278.6$	0.995	278.6	604.3	720.4	788.3	836.4	952.4	Kg/cm ²
0,5	$f'c = 116.4\ln(x) + 207.8$	0.994	207.8	434.3	515.0	562.2	595.7	676.4	Kg/cm ²

Berdasarkan Tabel 5.2 perbandingan perkembangan kuat tekan beton dry cast PPC, pada hasil perkembangan kuat tekan beton ini juga dipengaruhi oleh faktor air semen (FAS), semakin kecil nilai FAS maka kekuatan beton dry cast akan naik, terlihat hasil pada umur 28 hari nilai tertinggi yang didapat dari

pengujian adalah 1156.4 Kg/cm² yaitu pada FAS 0,3 dan terendah adalah 595.7 Kg/cm² yaitu pada FAS 0.5.

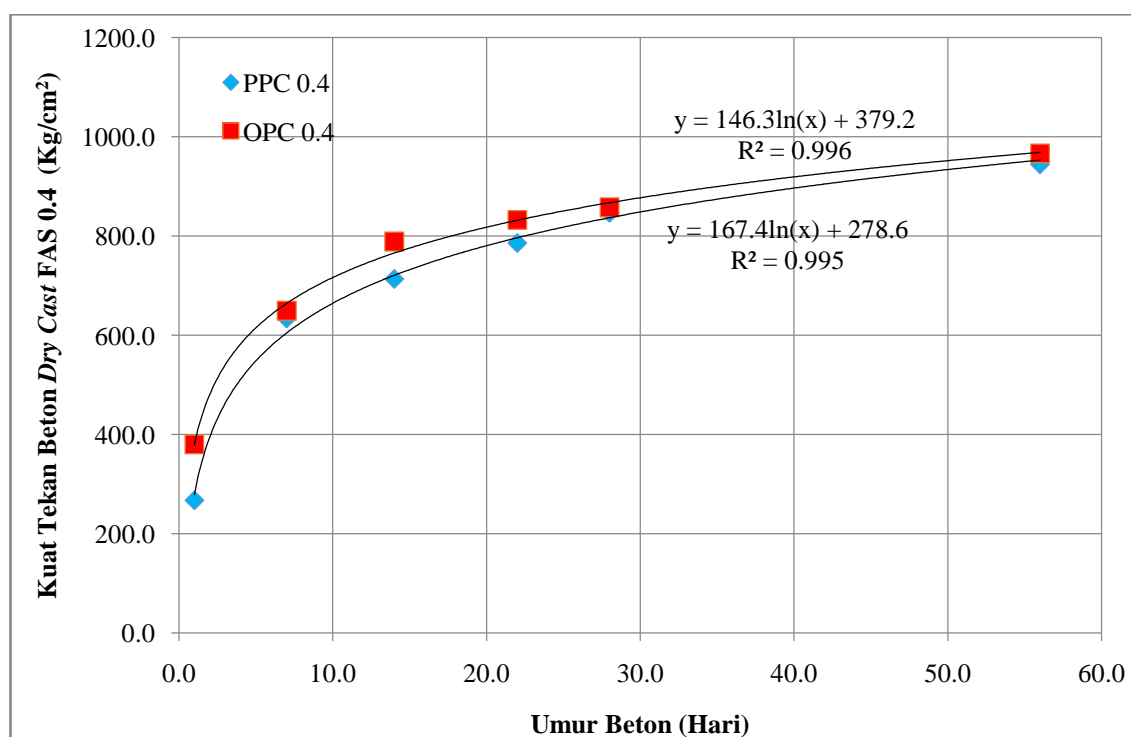


Gambar 5.3 Perbandingan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC & PPC FAS 0.5

Tabel 5.3 Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.5

FAS	Kuat tekan beton dry cast ($f'c$)	R^2	Umur						Tipe	Satuan
			1	7	14	21	28	56		Hari
0.5	$f'c = 85.51\ln(x) + 347.8$	0.988	347.8	514.2	573.5	608.1	632.7	692.0	OPC	Kg/cm ²
0.5	$f'c = 116.4\ln(x) + 207.8$	0.994	207.8	434.3	515.0	562.2	595.7	676.4	PPC	Kg/cm ²
<i>Range</i>			140.0	79.9	58.5	46.0	37.1	15.7		Kg/cm ²
			13.7	7.8	5.7	4.5	3.6	1.5		Mpa

Berdasarkan Gambar dan Tabel 5.3 perbandingan perkembangan kuat tekan beton dry cast FAS 0.5 pada penggunaan dua tipe semen (OPC dan PPC) terlihat ada sedikit perubahan perkembangan kuat tekan di awal umur beton, dimulai pada umur 1 hari hingga minggu ketiga, ketika usia melawati umur 2 bulan maka kekuatan beton akan menjadi sama. Terlihat *range* pada umur 56 hari dari pengujian adalah yang terkecil yaitu 1.5 MPa.

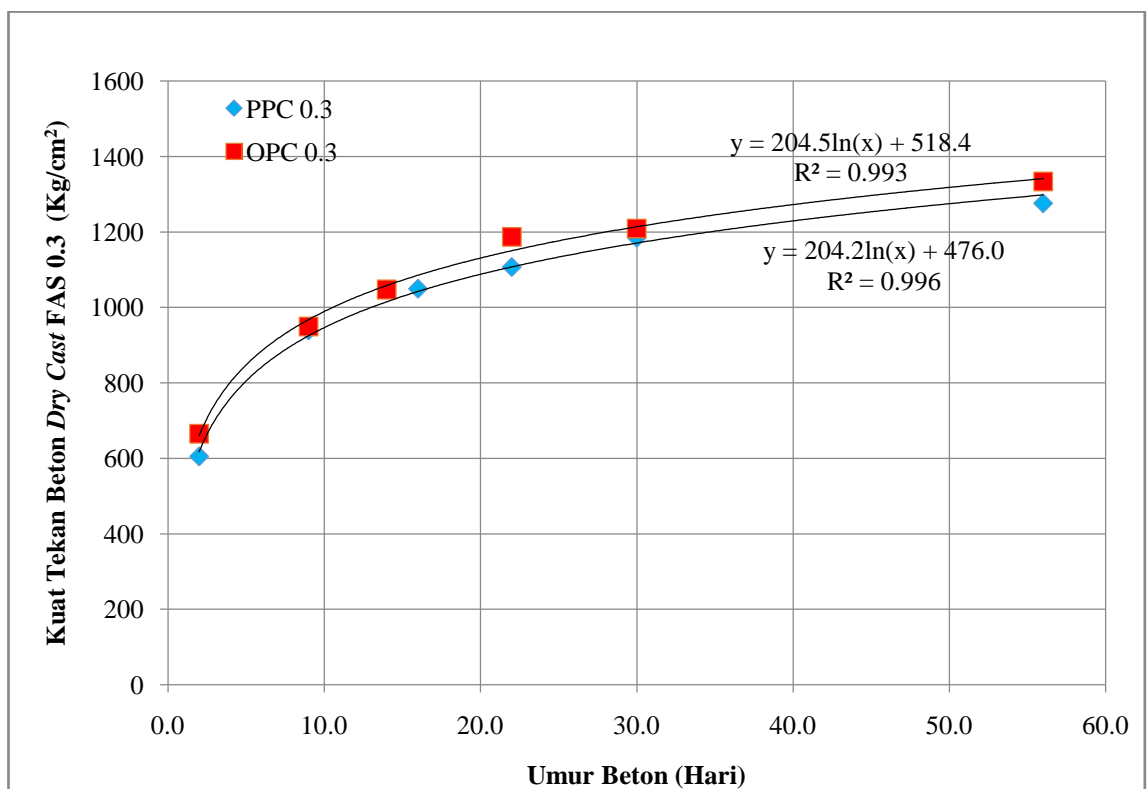


Gambar 5.4 Perbandingan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC & PPC FAS 0.4

Tabel 5.4 Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.4

FAS	Kuat tekan beton dry cast (f'_c)	R^2	Umur						Tipe	Satuan
			1	7	14	21	28	56		Hari
0.4	$f'_c = 146.3\ln(x) + 379.2$	0.996	379.2	663.9	765.3	824.6	866.7	968.1	OPC	Kg/cm ²
0.4	$f'_c = 167.4\ln(x) + 278.6$	0.995	278.6	604.3	720.4	788.3	836.4	952.4	PPC	Kg/cm ²
<i>Range</i>			100.6	59.5	44.9	36.4	30.3	15.7		Kg/cm ²
			9.9	5.8	4.4	3.6	3.0	1.5		Mpa

Berdasarkan Gambar dan Tabel 5.4 perbandingan perkembangan kuat tekan beton *dry cast* FAS 0.4 terlihat juga sama ada sedikit perubahan perkembangan kuat tekan di awal umur beton, dimulai pada umur 1 hari hingga minggu-minggu awal, dan ketika usia melawati umur 2 bulan maka kekuatan beton juga akan menjadi relative sama. Terlihat *range* pada umur 56 hari dari pengujian adalah yang terkecil yaitu 1.5 MPa.



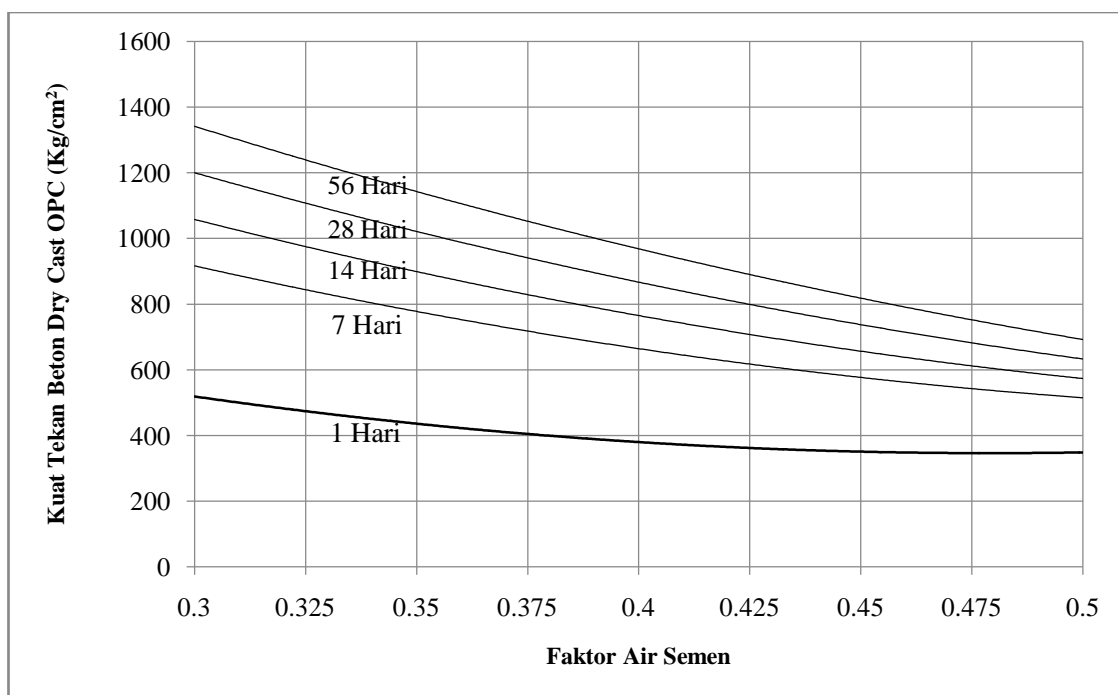
Gambar 5.5 Perbandingan Kuat Tekan Beton *Dry Cast* OPC & PPC FAS 0.3

Tabel 5.5 Perbandingan Perkembangan Kuat Tekan Beton OPC-PPC FAS 0.3

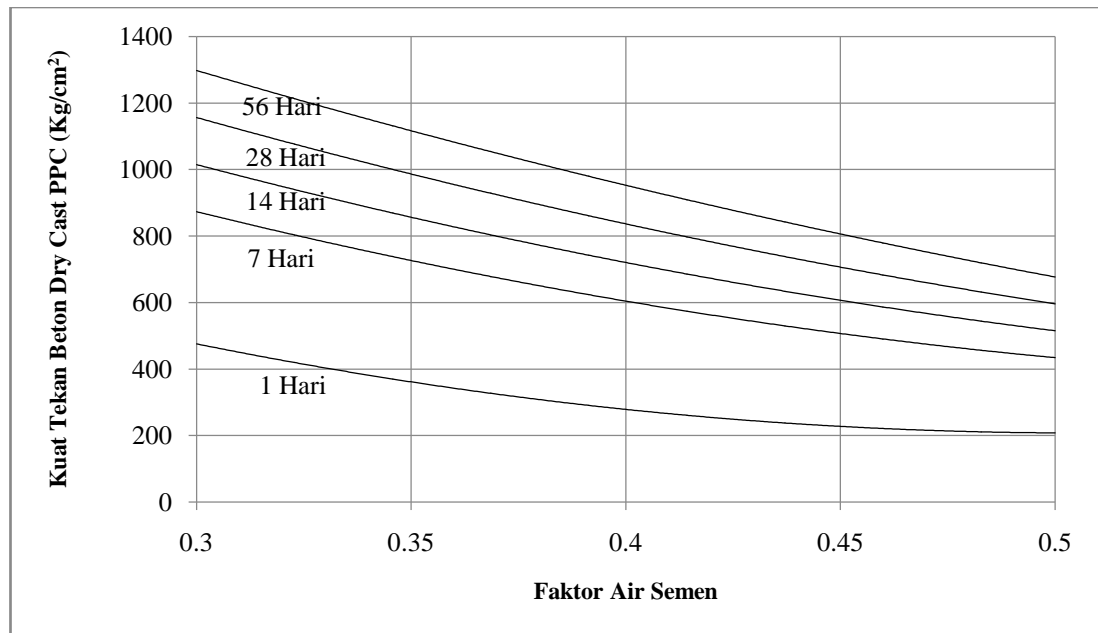
FAS	Kuat tekan beton dry cast ($f'c$)	R^2	Umur						Tipe	Satuan
			1	7	14	21	28	56		Hari
0.3	$f'c = 204.5\ln(x) + 518.4$	0.993	518.4	916.3	1058.1	1141.0	1199.8	1341.6	OPC	Kg/cm ²
0.3	$f'c = 204.2\ln(x) + 476.0$	0.996	476.0	873.4	1014.9	1097.7	1156.4	1298.0	PPC	Kg/cm ²
<i>Range</i>			42.4	43.0	43.2	43.3	43.4	43.6		Kg/cm ²
			4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3		Mpa

Berdasarkan Gambar dan Tabel 5.5 perbandingan perkembangan kuat tekan beton dry cast FAS 0.3 terlihat sama seperti perkembangan kuat tekan sebelumnya dimana perubahan perkembangan kuat tekan di awal umur beton, dimulai pada umur 1 hari hingga beberapa minggu awal, dan ketika masuk pada umur 2 bulan hingga lebih maka kekuatan beton juga akan menjadi relative sama. Terlihat *range* pada umur 56 hari dari pengujian adalah yang terkecil yaitu 4.3 MPa.

Menggunakan Tabel 5.1 dan 5.2 dengan memakai nilai FAS dan kuat tekan sebagai koordinat maka akan didapat grafik perkembangan kuat tekan beton berdasarkan umur pengujian, grafik dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7.



Gambar 5.6 Grafik FAS Tipe Semen OPC



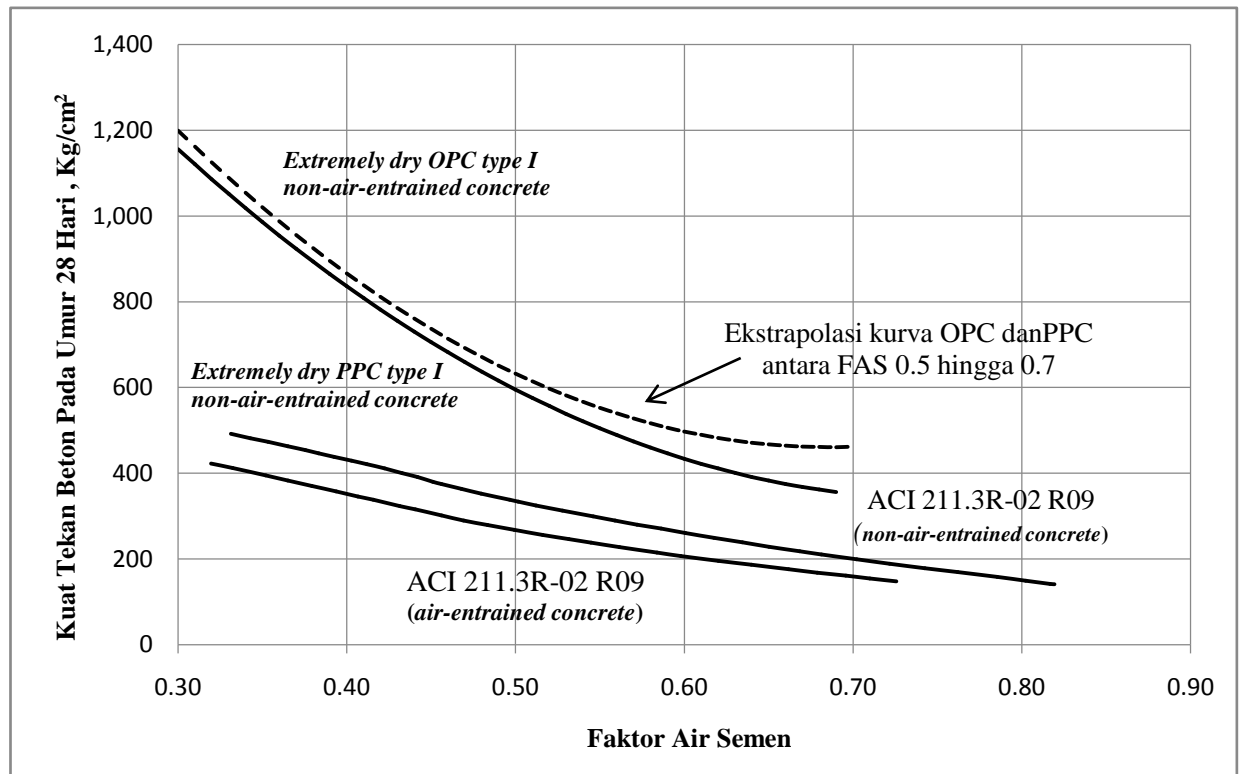
Gambar 5.7 Grafik FAS Tipe Semen PPC

Kurva yang didapat pada Gambar 5.6 dan 5.7 akan dapat diambil persamaan nilai eksponensialnya, sehingga dapat mempermudah dalam penentuan analisa perhitungan, persamaan ditampilkan dalam Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Persamaan Kuat Tekan Beton Terhadap FAS Tipe OPC dan PPC

	Umur	Kuat Tekan Beton <i>Dry Cast</i>
OPC	56	$f_c = 4868.x^2 - 7142.x + 3046$
	28	$f_c = 4958.x^2 - 6802.x + 2794$
	14	$f_c = 5048.x^2 - 6461.x + 2542$
	7	$f_c = 5138.x^2 - 6121.x + 2290$
	1	$f_c = 5390.x^2 - 5165.x + 1582$
PPC	56	$f_c = 3472.x^2 - 5885.x + 2751$
	28	$f_c = 3964.x^2 - 5975.x + 2592$
	14	$f_c = 4456.x^2 - 6064.x + 2433$
	7	$f_c = 4948.x^2 - 6154.x + 2274$
	1	$f_c = 6330.x^2 - 6405.x + 1827$
*X = Faktor Air Semen		

Dengan menggabungkan Gambar 5.6 dan 5.7 pada umur 28 hari serta grafik pada Gambar 3.1 pada ACI 211.3R-02 R09, maka akan didapat dilihat perbedaan antara kedua sistim cetak, yaitu *wet cast* dan *dry cast* pada kondisi slump nol.



Gambar 5.8 Perbandingan Kuat Tekan Beton dengan ACI 211.3R-02 R09

Pada kurva *extremely dry* OPC dan PPC pada Gambar 5.8 terlihat kurva melampaui jauh lebih tinggi dari kurva ACI. Dalam perencanaan proporsi untuk menentukan kuat tekan beton rencana dengan kondisi no slump, ACI 211.3R-02 R09 memang hanya membagi 2 kurva yaitu *non-air-entrained concrete* dan *air-entrained concrete*, berdasarkan dengan hasil penelitian ini kondisi *dry cast* yang konsistensi adukanya *extremely dry* yang dicetak dengan mesin press terlihat memiliki perbedaan yang jauh lebih tinggi kuat tekanya dibandingkan dengan

kurva ACI yang menggabung keseluruhan konsistensi menjadi hanya 2 kurva perkembangan kuat tekan.

Hasil penelitian yang berupa kurva pada Gambar 5.8 hanya mencakup pengujian pada FAS 0.3 hingga 0.5. Didalam pelaksanaanya untuk penggunaan FAS yang lebih besar dari 0.5 memang cukup jarang digunakan, namun untuk mempermudah perencana dalam menghitung FAS diatas 0.5 maka digunakan metode ekstrapolasi berdasarkan persamaan rumus yang telah didapat pada perhitungan sebelumnya. Berikut ditabelkan contoh perbandingan dari keempat kurva pada FAS 0.5. Dimana kurva *extremely dry* mencapai kuat tekan beton yang tinggi diatas kurva ACI hingga mencapai 600 kg/cm^2 dan 680 kg/cm^2 . Perbedaan juga tidak hanya pada kuat tekan namun juga akan ikut merubah proporsi kebutuhan dari material. Berikut akan dihitung contoh menghitung proporsi kebutuhan material.

Perbandingan proporsi kebutuhan material dengan f'_c 480 kg/cm^2 :

Peritungan proporsi menggunakan tabel dan gambar pada lampiran berdasar ACI 211.3R-02 R09 “*Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete*”, hanya pada tabel penentuan faktor air semen saja yang menggunakan grafik hasil penelitian pada Gambar 5.8.

Tabel 5.7 Perbedaan Proporsi Campuran

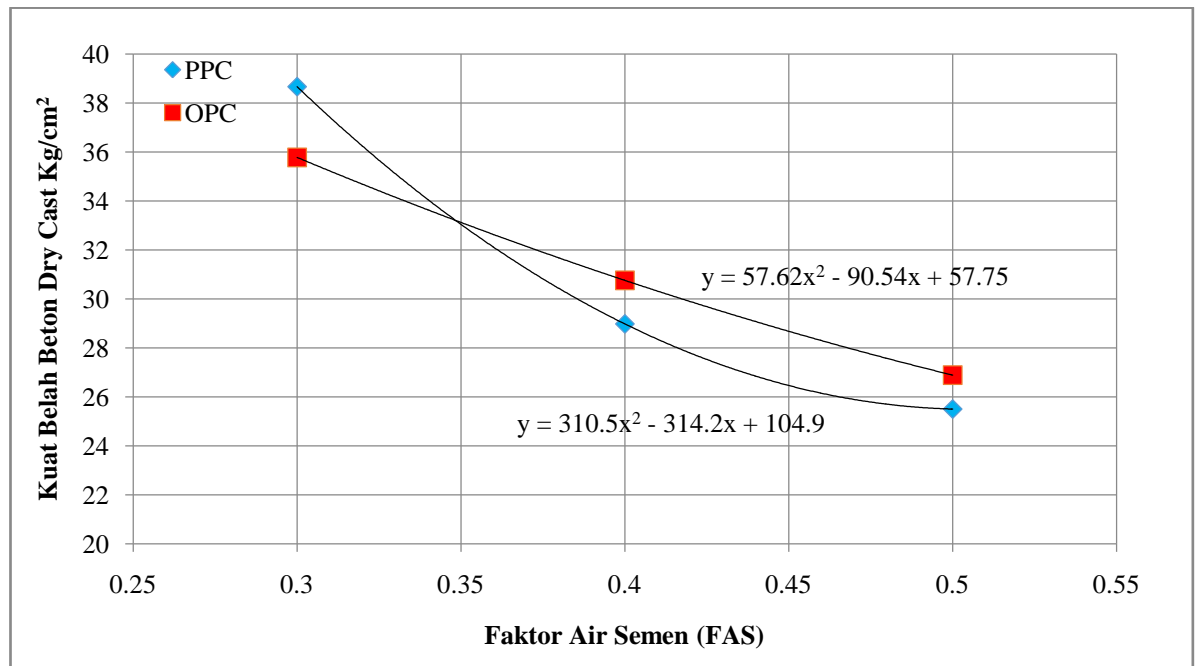
No	Uraian	<i>Extremely dry OPC type I non-air-entrained concrete</i>	ACI 211.3R-02 R09 <i>non-air-entrained concrete</i>	Keterangan
1.	Konsistensi batas campuran	<i>Extremely Dry</i>	<i>Extremely Dry</i>	Tabel 2.1 & 2.2
2.	Kebutuhan air dalam 1 m^3 beton	$155,8 \text{ Kg/m}^3$	$155,8 \text{ Kg/m}^3$	Gambar 2.1 & 2.2
3.	Kadar udara	1,75%	1,75%	Gambar 2.3
4.	Menentukan FAS untuk f'_c 480 kg/cm^2	0.62	0.34	Gambar 5.8 pada Tesis
5.	Volume untuk agregat kasar	0.575	0.575	Gambar 3.2

6.	Faktor koreksi volume agregat kasar	143 %	143 %	Gambar 3.3
7.	Kebutuhan agregat kasar	$0.5755 \times 1.43 = 0.823 \text{ m}^3$ sehingga didapat $0.823 \times 1400 \text{ kg/m}^3$ $= 1152 \text{ Kg}$	$0.5755 \times 1.43 = 0.823 \text{ m}^3$ sehingga didapat $0.823 \times 1400 \text{ kg/m}^3$ $= 1152 \text{ Kg}$	
	Proporsi	Semen : $155.8/0.62 = 251 \text{ Kg/m}^3$ Volume semen : $251/(3.15 \times 1000) = 0.0796 \text{ m}^3$ Volume air : $155.8/1000 = 0.1558 \text{ m}^3$ Volume agregat kasar : $= 1152/(2.53 \times 1000)$ $= 0.455 \text{ m}^3$ Volume udara : $1 \times 0.0175 = 0.0175 \text{ m}^3$ Volume total kecuali pasir : $= (0.0796 + 0.1558 + 0.455 + 0.0175) = 0.7079 \text{ m}^3$ Volume pasir : $= 1 - 0.7079 = 0.2921 \text{ m}^3$ Berat kebutuhan pasir : $= 0.2921 \times 2.53 \times 1000$ $= 739 \text{ Kg}$	Semen : $155.8/0.34 = 458 \text{ Kg/m}^3$ Volume semen : $458/(3.15 \times 1000) = 0.145 \text{ m}^3$ Volume of air : $155.8/1000 = 0.1558 \text{ m}^3$ Volume agregat kasar : $= 1152/(2.53 \times 1000)$ $= 0.455 \text{ m}^3$ Volume udara : $1 \times 0.0175 = 0.0175 \text{ m}^3$ Volume total kecuali pasir : $= (0.145 + 0.1558 + 0.455 + 0.0175) = 0.773 \text{ m}^3$ Volume pasir : $= 1 - 0.773 = 0.2267 \text{ m}^3$ Berat kebutuhan pasir : $= 0.2267 \times 2.53 \times 1000$ $= 573.6 \text{ Kg}$	

**Data awal menggunakan hasil pengujian pada penelitian ini,*

5.3 Analisa Hasil Pengujian Kuat Belah Beton

Analisa ini menggabungkan grafik dan data dari hasil pengujian kuat belah beton *dry cast* dengan dua variasi tipe semen (OPC dan PPC).



Gambar 5.9 Perbandingan Kuat Belah Beton *Dry Cast* OPC & PPC

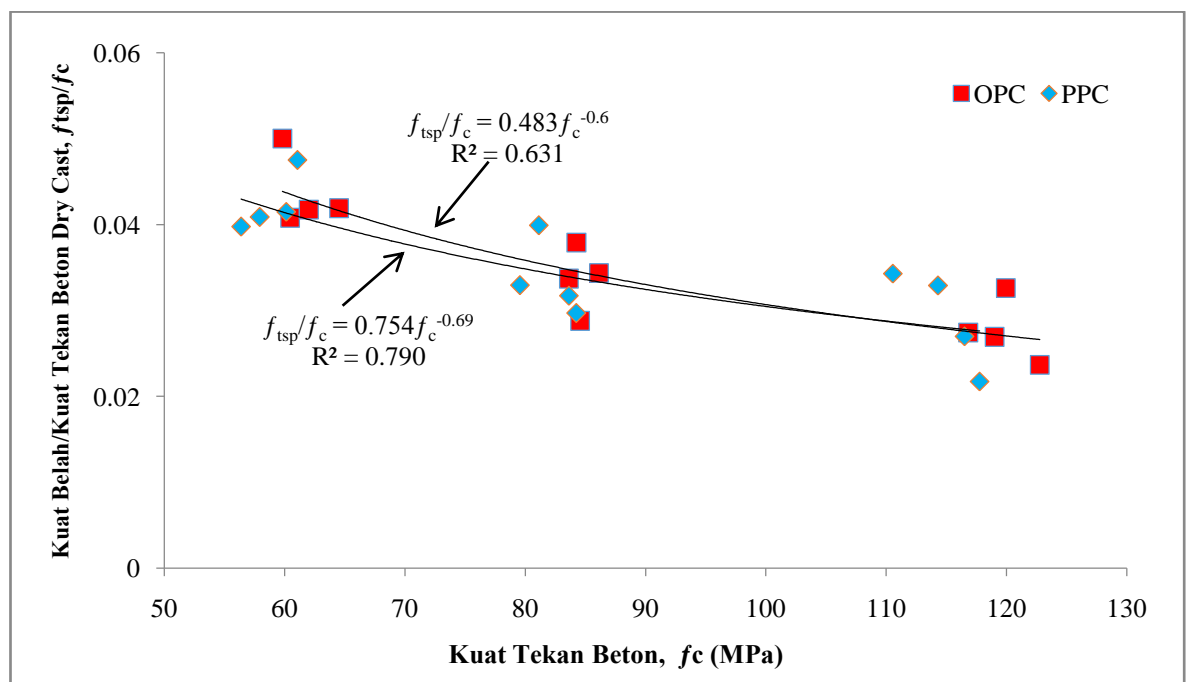
Dengan menggunakan persamaan yang didapat, maka *range* dari kuat belah beton kedua tipe semen tersebut akan dapat terlihat, berikut disajikan Tabel 5.7

Tabel 5.8 Perbandingan Perkembangan Kuat Belah Beton *Dry Cast* OPC-PPC

FAS	Kuat Belah Beton <i>dry cast</i> (Kg/cm ²)		Range
	Tipe OPC	Tipe PPC	
0.3	35.8	38.6	2.81
0.325	34.4	35.6	1.17
0.35	33.1	33.0	0.15
0.375	31.9	30.7	1.16
0.4	30.8	28.9	1.85
0.425	29.7	27.4	2.23
0.45	28.7	26.4	2.29
0.475	27.7	25.7	2.03
0.5	26.9	25.4	1.46

Berdasarkan Gambar dan Tabel 5.7 perbandingan perkembangan kuat belah beton *dry cast* pada tipe semen OPC-PPC terlihat ada perubahan, nilai deviasi pada kuat belah OPC-PPC pada FAS 0.3 mendekati sama dengan nilai FAS 0.5 yaitu 35.8 Kg/cm² dan 38.0 Kg/cm², namun deviasi terkecil yang terlihat didapatkan pada nilai FAS 0.4 yaitu 0.31 Kg/cm², semakin kecil dan semakin tinggi nilai dari FAS maka perbedaan kuat belah beton akan mempengaruhi perbedaan antara tipe semen OPC dan PPC.

Hubungan antara kuat belah beton dengan kuat tekan beton dapat diambil berdasarkan penggambaran hasil sebelumnya, dimana grafik rasio hubungan antara kuat belah beton dengan kuat tekan dan gambarkan dalam Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Rasio Hubungan Kuat Belah dan Kuat Tekan Beton *Dry Cast*

Terlihat dari dua tipe semen (OPC dan PPC) terdapat perbedaan signifikan pada rasio f_{tsp}/f_c diatas 60 hingga 80 MPa. Pada semen PPC dibandingkan dengan

OPC terlihat kurva yang tipe PPC dibawah kurva tipe OPC, nilai tertinggi dari rasio kuat belah dibagi kuat tekan di capai oleh tipe semen OPC.

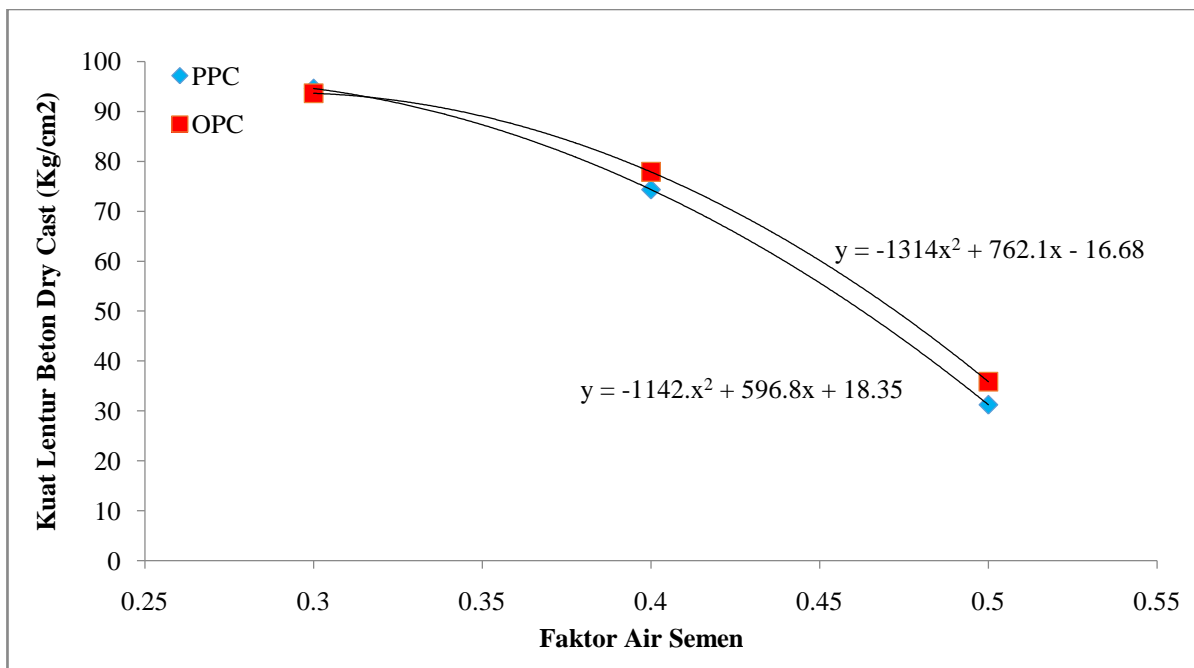
Merujuk pada hasil yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, yaitu Raphael, Gardner et al., Oluokun et al., Anoglu et al., serta pada peraturan ACI dan CEB-FIB pada Tabel 5.8 maka dapat diambil perbedaanya, dimana dengan menggunakan sistim cetak kering memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan dan belah, sehingga rasio yang didapat juga naik lebih besar.

Tabel 5.9 Hubungan Kuat Belah dan Kuat Tekan Beton di Berbagai Acuan

<i>Source</i>	<i>Relationship</i>	<i>Range (Mpa)</i>	<i>Remarks</i>
ACI 363R-92	$f_{tsp} = 0.59f_c^{0.5}$	$21 \leq f_c \leq 83$	-
ACI 318-99	$f_{tsp} = 0.56f_c^{0.5}$	-	-
CEB-FIB	$f_{tsp} = 0.3f_c^{\frac{2}{3}}$	$f_c < 83$	-
Mokhtarzadeh and French	$f_{tsp} = 0.56f_c^{0.5}$ & $f_{tsp} = 0.32f_c^{0.63}$	$48 \leq f_c \leq 103$	<i>For all data, moist and heat-cured</i>
Raphael	$f_{tsp} = 0.313f_c^{0.667}$	$f_c \leq 40$	<i>Normal Concrete</i>
Gardner et al.	$f_{tsp} = 0.47f_c^{0.59}$	$3 \leq f_c \leq 46$	<i>Type I cement concretes (r = 0.865)</i>
	$f_{tsp} = 0.46f_c^{0.60}$	$13 \leq f_c \leq 72$	<i>Type III cement concretes (r = 0.989)</i>
Oluokun et al.	$f_{tsp} = 0.294f_c^{0.69}$	$3.5 \leq f_c \leq 63$	<i>Normal weight concrete (IAE = 7.43%)</i>
Anoglu et al.	$\frac{f_{tsp}}{f_c} = 0.387f_c^{-0.37}$	$4 < f_c < 120$	<i>Proposed for (0 to 30° C) curing temperatures, Type I, III, cement fly ash, cement/bottom ash, cement/silica fume concretes</i>
Rasyiid et al.	$\frac{f_{tsp}}{f_c} = 0.754f_c^{-0.69}$	$60 \leq f_c \leq 119$	<i>Normal Dry Cast Concrete, Type I cement OPC</i>
	$\frac{f_{tsp}}{f_c} = 0.483f_c^{-0.6}$	$60 \leq f_c \leq 114$	<i>Normal Dry Cast Concrete, Type I cement PPC</i>

5.4 Analisa Hasil Pengujian Lentur Beton

Berdasarkan hasil pengujian sampel balok pada pembahasan hasil uji sebelumnya, maka dilakukan penggabungan dua kurva, sehingga dapat terlihat perbedaannya sebagai berikut.



Gambar 5.11 Perbandingan Modulus Rupture Beton *Dry Cast* OPC & PPC

Tabel 5.10 Perbandingan *Modulus Rupture* Beton *Dry Cast* OPC-PPC

	Tipi OPC	Tipi PPC	
FAS (x)	Modulus Rupture Beton <i>dry cast</i> (Kg/cm ²)		<i>Range</i>
	y =-1314x ² + 762.1x - 16.68	y = -1142.x ² + 596.8x + 18.35	(MPa)
0.3	93.69	94.61	0.92
0.325	92.21	91.69	0.53
0.35	89.09	87.34	1.76
0.375	84.33	81.56	2.77
0.4	77.92	74.35	3.57
0.425	69.87	65.72	4.16
0.45	60.18	55.66	4.52
0.475	48.85	44.17	4.68
0.5	35.87	31.25	4.62

Berdasarkan hasil pengujian lentur beton *dry cast* semen OPC-PPC, nilai *range* dari kedua tipe semen tersebut tidak terpaut jauh, yaitu dengan nilai *range* tertinggi 4.62 Kg/cm² . Pada FAS 0.5 dan deviasi terkecil pada FAS 0.3, selisih dari kedua tipe semen OPC-PPC tidak jauh berbeda. Disimpulkan bahwa dalam kekuatan lentur nilai dari kedua tipe semen terhadap penggunaan cetak kering tidak memiliki perbedaan yang besar atau bisa dikategorikan memiliki nilai yang mendekati sama.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Hasil pengujian kuat tekan f_c pada variasi FAS 0.3, 0.4, dan 0.5 dengan menggunakan tipe semen OPC dan PPC didapat bahwa perbedaan signifikan terletak pada umur awal yaitu pada umur 1 hari hingga 21 hari.
2. Nilai maksimum kuat tekan beton dengan sistim cetak kering (*normal dry cast concrete*) dari berbagai variasi FAS serta perkembangan umurnya antara tipe semen OPC dan PPC adalah tipe semen OPC yang kurva perkembangan kuat tekan beton-nya hampir keseluruhan diatas kurva tipe semen PPC. Nilai kuat tekan maksimum pada FAS 0.3 umur 28 hari dapat mencapai 1199.8 Kg/cm^2
3. Pengamatan perilaku kehancuran pada sampel sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton, dimana ketika rata-rata kuat tekan beton diatas 600 Kg/cm^2 perilaku kehancuran berbentuk *Columnar* dan *Cone and Split* dan kuat tekan beton $\leq 600 \text{ Kg/cm}^2$ kehancuran berbentuk *Cone*.
4. Metode dengan sistim cetak kering yang diterapkan pada adukan beton normal terbukti berdampak sangat efektif pada jumlah produksinya, yaitu kecepatan cetak yang cepat dan efisiensi penggunaan bekisting/ atau *mold* yang hanya cukup 1 atau 2 buah saja, serta memerlukan waktu 1 kali cetak 3 - 15 menit sesuai dengan ukuran sampel atau produk.
5. Nilai hubungan antara FAS dan kuat tekan beton *dry cast* pada umur 28 hari untuk tipe semen OPC adalah $f_c = 4958.x^2 - 6802.x + 2794$ dan tipe semen PPC adalah $f_c = 3964.x^2 - 5975.x + 2592$
6. Hasil penggabungan kurva beton cetak kering dengan beton *no slump* dari metode ACI 211.3R-02 R09 jauh di atas dari kurva ACI, Dimana kurva *extremely dry* mencapai kuat tekan beton yang tinggi diatas kurva ACI yaitu diatas 492.5 kg/cm^2

7. Hasil pengujian kuat belah beton *dry cast* didapat peningkatan signifikan pada tipe semen PPC, dimulai FAS 0.5 yang terendah hingga FAS 0.3 yang tertinggi, nilai kuat belah beton f_{tsp} pada umur 28 hari dapat mencapai 38.6 Kg/cm².
8. Nilai rasio hubungan antara kuat tekan dan kuat belah beton *dry cast* dari tipe semen OPC adalah $f_{tsp}/f_c = 0.754f_c^{-0.69}$ dan tipe semen PPC adalah $f_{tsp}/f_c = 0.483f_c^{-0.6}$
9. Hasil pengujian lentur beton tak bertulang pada penggunaan semen OPC dan PPC mampu mencapai nilai *modulus rupture* pada FAS 0.3 yaitu PPC 94.61 Kg/cm² dan OPC 93.69 Kg/cm². Perkembangan dengan nilai *modulus rupture* rata-rata maksimum dicapai oleh tipe semen OPC.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Perlunya pengukuran nilai getaran pada alat dan cetakan yang dipakai dalam proses *vibrating* pada pelaksanaan produksi, agar dapat diketahui nilai getaran yang optimum agar mendapatkan kepadatan maksimum pada proses cetak beton *dry cast*.
2. Mengukur nilai tekanan alat pada proses *pressing* pada adukan beton.
3. Serta mencoba variasi kebutuhan waktu cetak ketika proses *vibrating* dan *pressing* selama proses 1 kali produksi agar dapat ditentukan waktu yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 363, "*State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-92)*," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1992, 55 pp.
- ACI Committee 318, "*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (318R-99)*," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999, 391 pp.
- American Concrete Institute (ACI) 1995, *Design of Normal Concrete Mixes, Building Code Requirements for Reinforced Concrete*.
- Asroni, H. Ali "*Balok dan Pelat Beton Bertulang*" Graha Ilmu, 2010.
- ASTM C 29/C 29M-97 (Reapproved 2003), Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate, United States.
- ASTM C 33-03 (2003), Standard Specification for Concrete Aggregates, United States.
- ASTM C 39 / C 39M-03 (2003), Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, United States.
- ASTM C 40-04 (2004), Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete, United States.
- ASTM C 117-03 (2003), Standard Test Method for Material Finer than 75 μ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, United States.
- ASTM C 127-88 (Reapproved 2001), Standard Test Method for Density Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, United States.
- ASTM C 128-01 (2001), Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, United States.
- ASTM C 136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, United States.
- CEB-FIP Model Code for Concrete Structures 1990, "*Evaluation of the Time Dependent Behaviour of Concrete*," Bulletin d'Information No. 199, Comité

- European du Béton/Fédération Internationale de la Précontrainte, Lausanne, 1991, 201 pp.
- Gardner, N. J.; Sau, P. L.; and Cheung, M. S., “*Strength Development and Durability of Concretes Cast and Cured at 0 C,*” *ACI Materials Journal*, V. 85, No. 6, Nov.-Dec. 1988, pp. 529-536.
- Husken G. & H.J.H.Brouwers (2011), “On the early-age behavior of zero-slump concrete” *Cement and Concrete Research* 42 501-510.
- Kayali O. A. (2004). *Bond of Steel in Concrete and Effect of Galvanizing*, Elsevier B. V pp230.
- Mokhtarzadeh, A., and French, C., “Mechanical Properties of High-Strength Concrete with Consideration for Precast Applications,” *ACI Materials Journal*, V. 97, No. 2, Mar.-Apr. 2000, pp. 136-147.
- National Concrete Masonry Association, SEM (2007), “*Improving The Freeze-Thaw Durability of Concrete Masonry Products*”.
- Neville A.M. & Brooks J.J. (2010), “*Concrete Technology*” Second Edition
- Nihal Arioglu, Z. Canan Girgin, and Ergin Arioglu, “*Evaluation of Ratio between Splitting Tensile Strength and Compressive Strength for Concretes up to 120 MPa and its Application in Strength Criterion*” *ACI Materials Journal*, V. 103, No. 1, January-February 2006.
- Oluokun, F. A.; Burdette, E. G.; and Deatherage, J. H., “*Splitting Tensile Strength and Compressive Strength Relationships at Early Ages*” *ACI Materials Journal*, V. 88, No. 2, Mar.-Apr. 1991, pp. 115-121.
- Raphael, J. M., “Tensile Strength of Concrete,” *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 81, No. 2, Mar.-Apr. 1984, pp. 158-165.
- Tjokrodimulyo K. 1996 *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri Yogyakarta.
- Tri Mulyono (2003), “*Teknologi Beton*”, ISBN 979-763-054-4.
- Yiyang Wang, Feng Jin, & Yuetao Xie. (2016), “*Experimental Study on Effect of Casting Procedures on Compressive Strength, Water Permeability, and Interfacial Transition Zone Porosity of Rock-Filled Concrete*” *ASCE Journal of Materials*, ISSN 0899-1561.

LAMPIRAN
FOTO DAN DOKUMENTASI TAMBAHAN



(A1)



(A2)

Gambar (A1) Tampak Depan Mesin Cetak Beton, dan (A2) Tampak Samping



(A3)



(A4)

Gambar (A3) dan (A4) Proses Pembuatan dan Pengelasan Cetakan Silinder



(A5)



(A6)



(A7)



(A8)

Gambar (A5) hingga (A8) Sampel Silinder Setelah Proses Cetak dengan Menggunakan Mesin, 4 buah sampel setiap 1 kali proses cetak



(A9)



(A10)

Gambar (A9) dan (A10) Sampel Balok dalam Proses Penggambaran Garis dan Pengujian Lentur.

LAMPIRAN PERHITUNGAN MIX DESIGN

Mix Design Dengan Metode ACI 211.3R-02 R09 “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”			
No.	Uraian	Hasil	Keterangan
1.	Menentukan konsistensi batas campuran	<i>Extremely Dry</i>	Tabel 2.1 & 2.2
2.	Menentukan kebutuhan air dalam 1 m ³ beton	155,8 Kg/m ³ atau 155,8 L/m ³	Gambar 2.1 & 2.2
3.	Menentukan persen kadar udara dalam campuran adukan beton	1,75%	Gambar 2.3
4.	Memperkirakan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari	<i>Water/Cement 0.5 : 33 MPa</i> <i>Water/Cement 0.4 : 42 MPa</i> <i>Water/Cement 0.3 : > 48 MPa</i>	Gambar 3.1
5.	Perkiraan volume untuk agregat kasar	0.575	Gambar 3.2
6.	Penentuan faktor koreksi volume agregat kasar	143 %	Gambar 3.3
7.	Perkiraan kebutuhan agregat kasar per kubik meter	$0.5755 \times 1.43 = 0.823 \text{ m}^3$ sehingga didapat	-
8.	Menentukan proporsi kebutuhan adukan beton	$0.823 \times 1400 \text{ kg/m}^3 = 1152 \text{ Kg}$ <i>Example For Water/Cement = 0,5</i> $\text{Cement} = 155.8/0.5$ $= 311.6 \text{ Kg/m}^3 = 312 \text{ Kg/m}^3$ $\text{Solid volume of cement} = 312/(3.15 \times 1000)$ $= 0.09905 \text{ m}^3$ $\text{Volume of water} = 155.8/1000 = 0.1558 \text{ m}^3$ $\text{Solid volume of coarse aggregate} = 1152/(2.62 \times 1000) = 0.4397 \text{ m}^3$ $\text{Volume of air} = 1 \times 0.0175 = 0.0175 \text{ m}^3$ $\text{Total volume of ingredients, except sand} = (0.09905 + 0.1558 + 0.4397 + 0.0175)$ $= 0.71205 \text{ m}^3$ $\text{solid volume of sand required} = 1 - 0.71295 = 0.28795 \text{ m}^3$ $\text{Required mass of oven-dry sand} = 0.28795 \times 2.64 \times 1000 = 760 \text{ kg}$	-

**Data awal berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini,*

LAMPIRAN TABEL DAN GRAFIK

ACI 211.3R-02 R09

Table 2.2—Approximate relative water content for different consistencies

Consistency description	Approximate relative water content, %	
	Thaulow ⁵	Table 6.3.3, ACI 211.1
Extremely dry	78	—
Very stiff	83	—
Stiff	88	—
Stiff plastic	93	92
Plastic	100	100
Very plastic	106	106

Table 2.1—Comparison of consistency measurements for slump and Vebe apparatus

Consistency description	Slump, mm	Slump, in.	Vebe, s
Extremely dry	—	—	32 to 18
Very stiff	—	—	18 to 10
Stiff	0 to 25	0 to 1	10 to 5
Stiff plastic	25 to 75	1 to 3	5 to 3
Plastic	75 to 125	3 to 5	3 to 0
Very plastic	125 to 190	5 to 7-1/2	—

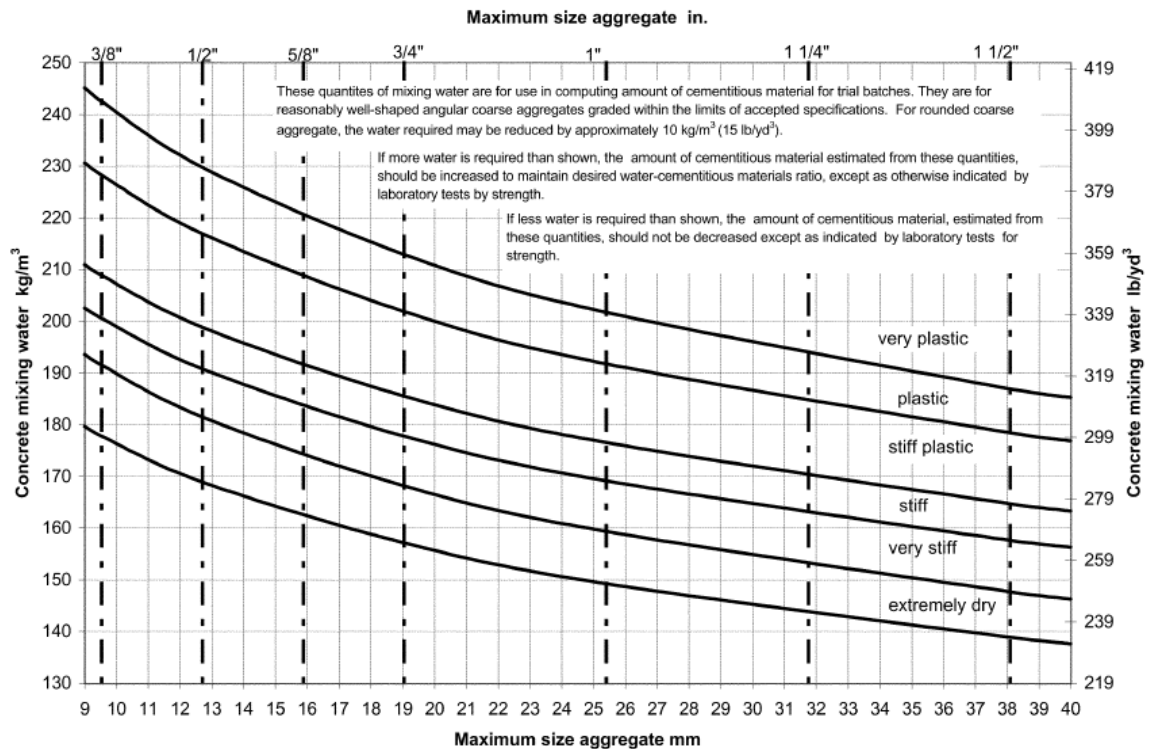


Fig. 2.1—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for nonair-entrained concrete.

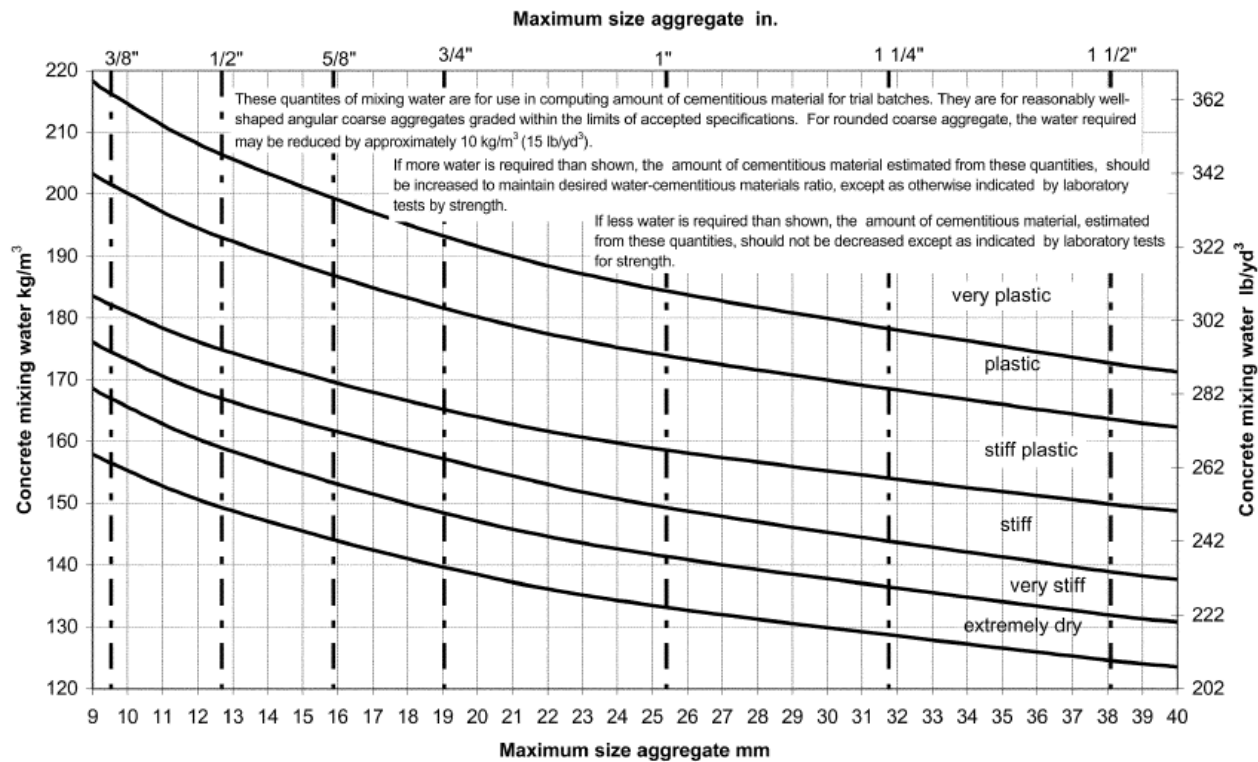
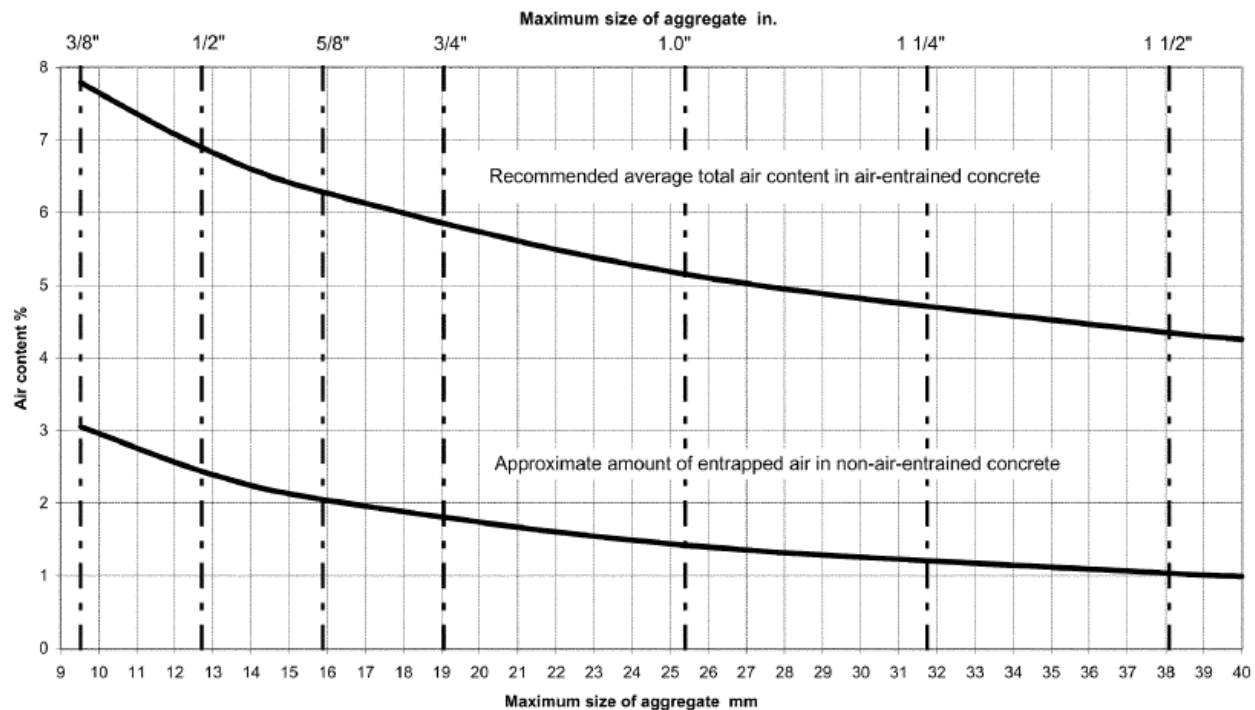
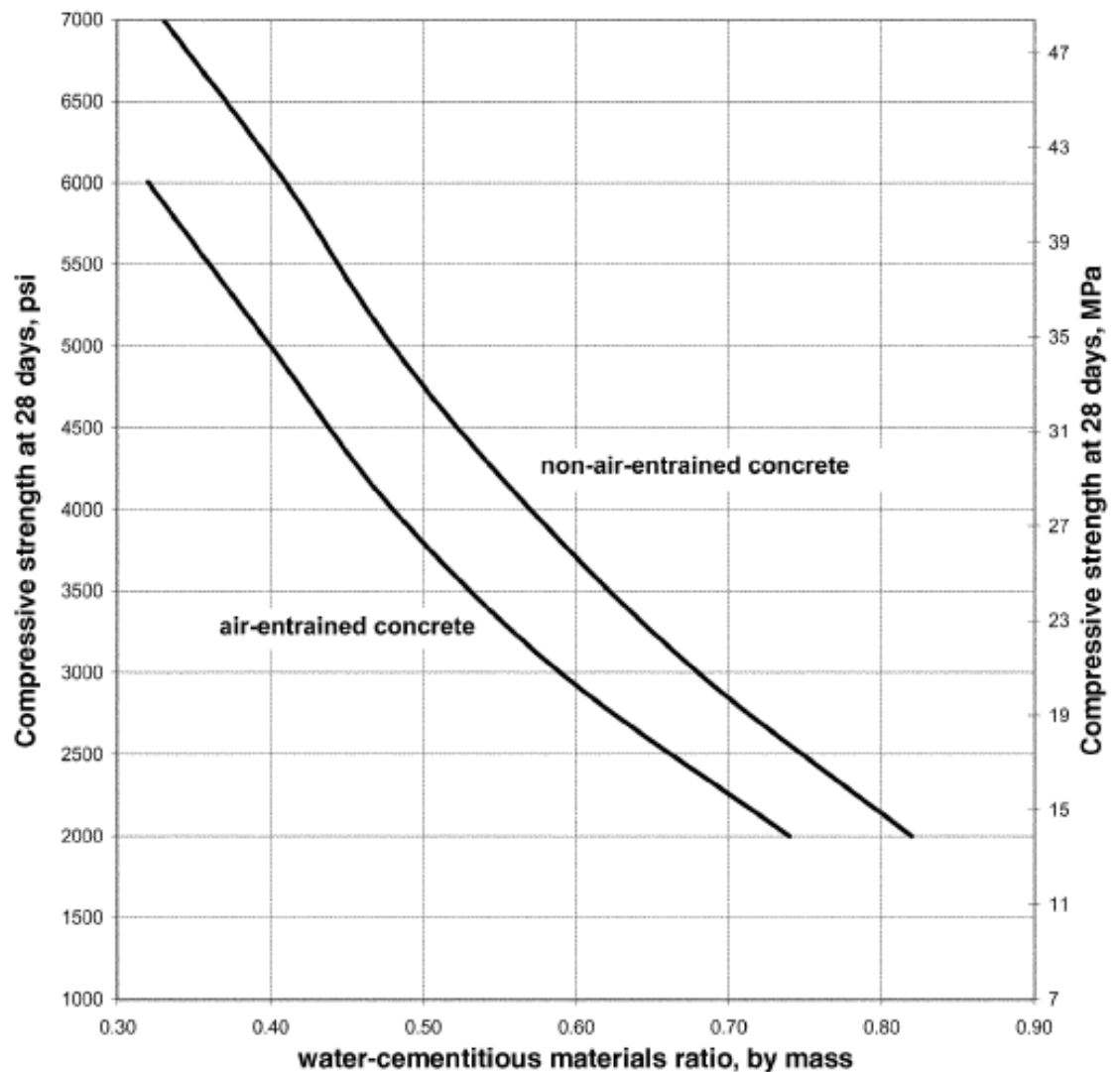


Fig. 2.2—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for air-entrained concrete.



For consistencies below 25mm (1 in.) slump, the volumes of air entrained by either an air-entraining cement or the usual amount of air-entraining admixture used for more plastic mixtures may be significantly lower than those shown.

Fig. 2.3—Air content of concrete mixtures for different maximum size aggregate.



Values are estimated average strengths for concrete containing not more than the percentage of air shown in Fig. 2.3. For a constant water-cementitious materials ratio, the strength of concrete is reduced as the air content is increased.

Strength is based on 150 x 300 mm (6 x 12 in.) cylinders prepared in accordance with ASTM C 31/31M and moist-cured 28 days at $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$).

Relationship assumes maximum size aggregate about 19 to 25 mm ($3/4$ to 1 in.) for a given source; strength produced for a given water-cementitious materials ratio will increase as maximum size of aggregate decreases.

ACI COMMITTEE REPORT

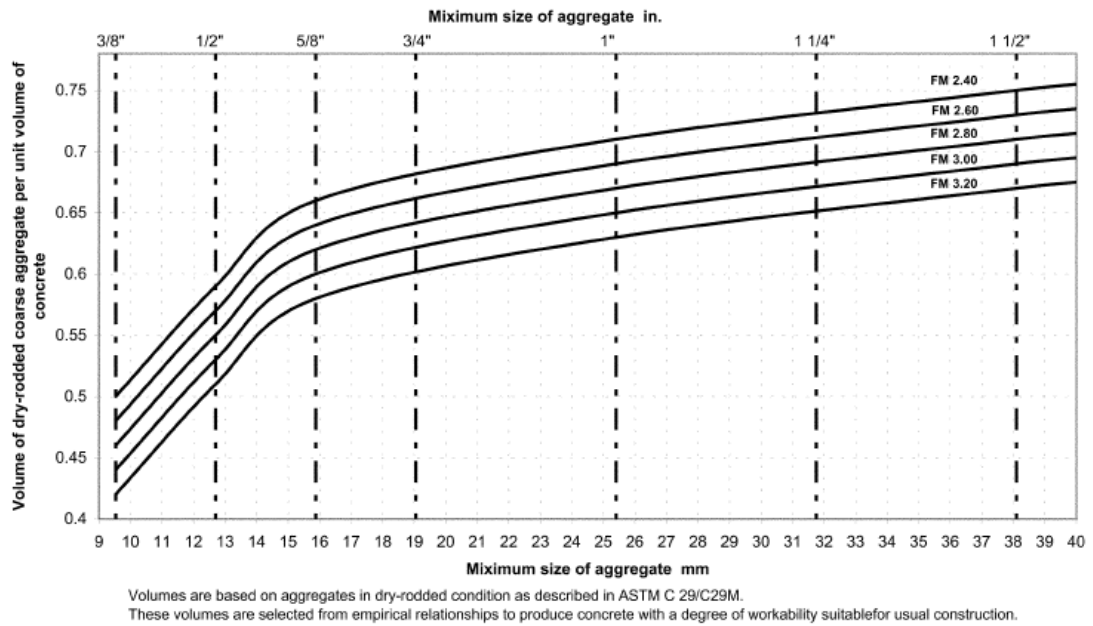
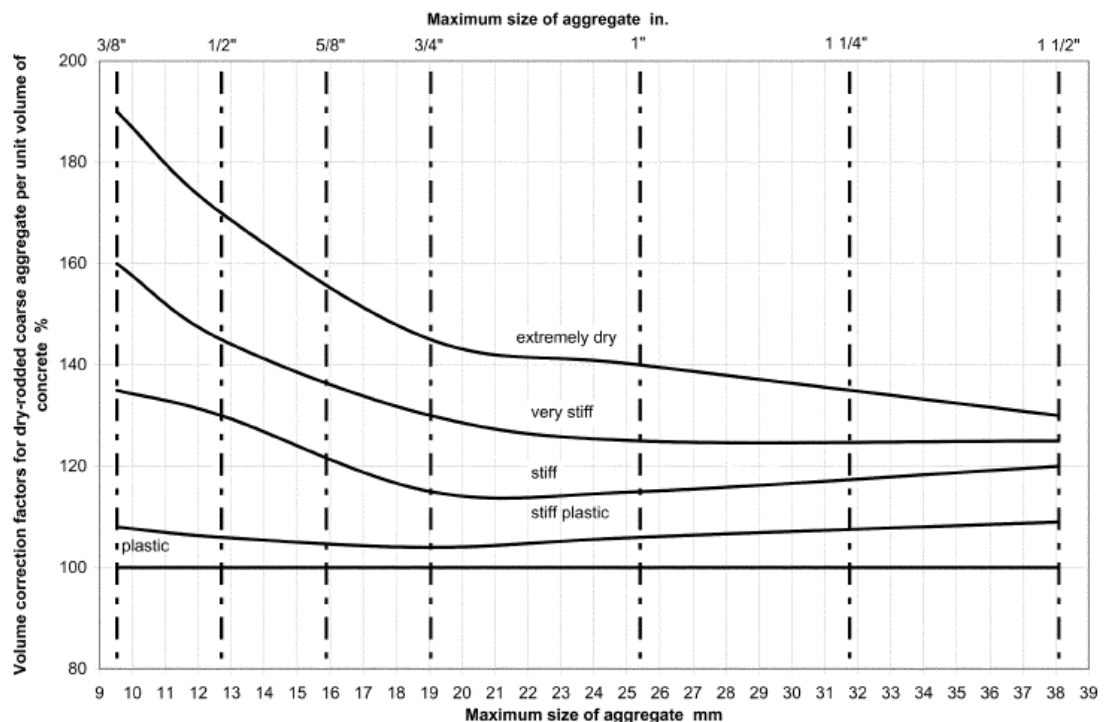


Fig. 3.2—Volume of coarse aggregate per unit volume of concrete of plastic consistency (75 to 125 mm [3 to 5 in.] slump).



Based on tests of nonair-entrained concrete made with a natural sand having a fineness modulus of 2.90 and rounded gravel, containing some crushed over-size pieces. Maximum sizes were 9.5mm, 19mm, and 38.1mm (3/8", 3/4", and 1 1/2 "). Values for 12.5mm and 25mm (1/2" and 1") are interpolated. It is assumed, for the purpose of this method, that the multiplication factors are appropriate for sands having other fineness moduli. These values are intended as a guide in establishing the first trial mixtures. Further adjustments will be necessary.

Fig. 3.3—Volume correction factors for dry-rodded coarse aggregate for concrete of different consistencies.